

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA :

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* pada Tangki Solar Water Heater Berisi Air dengan Variasi Debit Air pada Proses *Discharging* secara Bertahap

Judul Naskah Publikasi :

Nama Mahasiswa: Abdul aziz

NIM : 20150130162

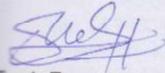
Pembimbing 1: Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T.

Pembimbing 2: Teddy Nurcahyadi, S.T., M.Eng.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*Ber tanda ✓ di kotak yang sesuai



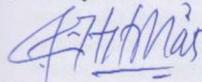
Tanda Tangan

Abdul Aziz

Tanggal 26-09-2019

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui



Tanda Tangan

Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T.

25-09-2019

Tanggal

Tanda Tangan

Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D

Tanggal 29-9-2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

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

Abdul Aziz.^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

^aazis.salamlestari@gmail.com, ^btitoahas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Metode yang tepat untuk mengatasi kekurangan SWH konvensional yaitu dengan memperbaiki sistem penyimpanan panasnya, *Sensibel Heat Storage* (SHS) adalah salah satu media penyimpanan panas dengan perubahan temperatur dan tidak berubah fasa. Penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi *Computational Fluid Dynamis* (CFD). Salah satu tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui evolusi temperatur air di dalam tangki.

Konfigurasi geometri terdiri dari air sebagai *Heat Transfer Fluid* (HTF). Simulasi dilakukan dengan menggunakan ANSYS Fluent 18.0 pada proses discharging secara bertahap dengan jeda 5 menit memiliki temperatur *inlet* 27 °C sedangkan temperatur air di dalam tangki 70°C, variasi debit air 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Objek simulasi meliputi evolusi temperatur, pelepasan kalor kumulatif, laju pelepasan kalor serta laju penurunan temperatur (HTF).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran maka semakin cepat penurunan temperatur pada HTF. Selain itu laju pelepasan kalor dan laju penurunan suhu menunjukkan hasil yang sama. Waktu yang di perlukan pada proses *discharging* secara bertahap pada variasi 1,5 LPM dan 2,5 LPM adalah 3,1 jam dan 2,3 jam, laju pelepasan kalor 1.085,08 J/s, dan 1.012,17 J/s sedangkan laju penurunan suhu air adalah 10,22°C/jam dan 14,70°C/jam. Namun untuk pelepasan kalor kumulatif semakin besar debit aliran maka pelepasan kalor kumulatif semakin kecil dimana pada variasi debit 1,5 LPM yaitu 9.047.403,57 J dan untuk variasi debit 2,5 LPM yaitu 8.439.528,87 J.

Kata kunci : Fluent, TES, Discharging secara bertahap, kalor kumulatif, laju pelepasan kalor, laju penurunan suhu air.

Abstract

The right method to overcome the shortcomings of conventional SWH is by improving the heat storage system, Sensibel Heat Storage (SHS) is one of the heat storage media with temperature changes and does not change phase. This research was conducted by means of a Computational Fluid Dynamis (CFD) simulation. One of the objectives in this research is to determine the evolution of water temperature in the tank.

The geometry configuration consists of water as a Heat Transfer Fluid (HTF). The simulation was carried out using ANSYS Fluent 18.0 in the process of discharging in stages with a gap of 5 minutes having an inlet temperature of 27 °C while the temperature of the water in the tank was 70 °C, the variation of water discharge was 1.5 LPM and 2.5 LPM. Simulation objects include temperature evolution, cumulative heat release, heat release rate and rate of temperature reduction (HTF).

The simulation results show that the greater the flowrate, the faster the temperature decrease in HTF. In addition, the rate of heat release and the rate of temperature reduction show the same results. The time needed for the process of discharging gradually in a variation of 1.5 LPM and 2.5 LPM is 3.1 hours and 2.3 hours, the rate of heat release is 1,085.08 J/s, and 1,012.17 J/s while the rate the decrease in water temperature is 10.22 °C/hour and 14.70 °C/hour. However, for the cumulative heat release the greater the flow flow, the cumulative heat release is smaller where in the 1.5 LPM discharge variation is 9,047,403.57 J and for the 2.5 LPM discharge variation is 8,439,528.87 J.

Keywords: Fluent, TES, Discharging gradually, cumulative heat, rate of heat release, rate of decrease in water temperature

1. Pendahuluan

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup menjanjikan, karena energi surya tersedia dengan cuma-cuma dan sistem teknologi dalam pemanfaatannya cukup sederhana dibanding energi terbarukan yang lain, selain itu energi surya juga ramah lingkungan karena dalam pemanfaatan energinya tidak meninggalkan zat-zat yang berbahaya bagi lingkungan. Energi surya dapat dimanfaatkan dengan dua macam teknologi diantara energi surya fotovoltaik atau yang sering disebut dengan solar cell dan surya termal, biasanya energi surya termal digunakan sebagai pemanas air rumah tangga, khususnya rumah tangga di perkotaan [1].

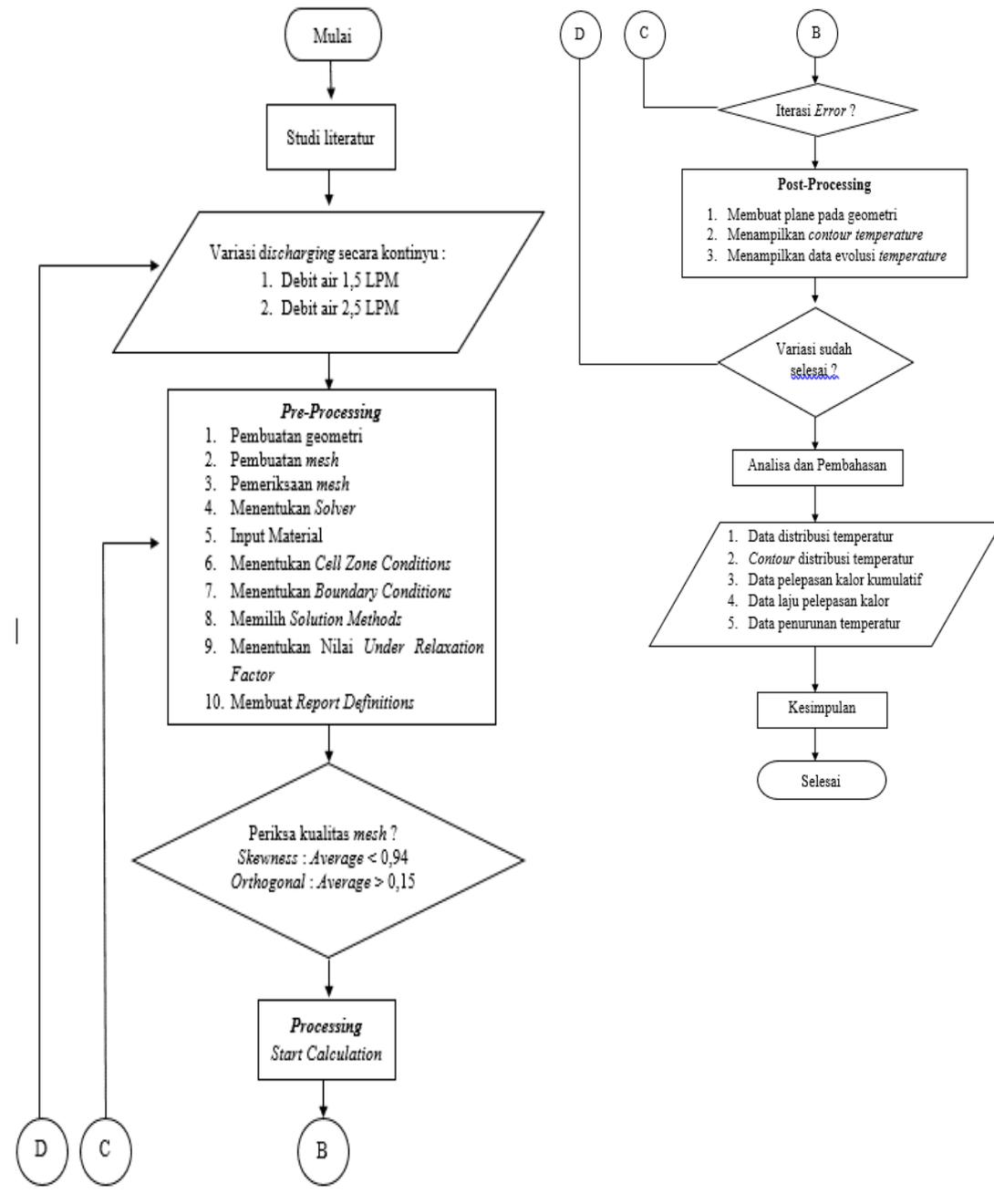
Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di jalur katulistiwa yang memiliki iklim tropis yang mana pada jalur tersebut memiliki sebaran panas matahari yang cukup baik, karena matahari dapat bersinar sepanjang tahun tanpa adanya musim dingin. *Standard Test Conditions (STC)* menyatakan bahwa pada saat siang hari matahari dapat memancarkan energi radiasi panas sebesar 1000 Watt/m². Dengan melihat pernyataan tersebut energi surya di Indonesia cukup berpotensi untuk di manfaatkan, salah satu alat yang dapat digunakan dalam pemanfaatan energi surya yaitu *Solar Water Heater* [2].

Solar water heater (SWH) adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air dengan memanfaatkan energi termal surya, dimana sebagian besar komponennya terdiri dari kolektor dan tangki TES (*Termal Energi Storage*). TES berfungsi sebagai penyimpan panas yang dapat di gunakan pada saat diperlukan secara otomatis[3]. *Sensible Heat Storage (SHS)* adalah salah satu penyimpan panas pada TES yang medinya mengandalkan perubahan temperatur tanpa adanya perubahan fasa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui evolusi temperatur di dalam TES dengan penyimpan panas SHS yang menggunakan media berupa air sebagai *Heat Transfer Fluid (HTF)*.

Penelitian eksperimen tidak dapat mengetahui evolusi temperatur di dalam TES dengan spesifik selain proses pemasangan termokopel dan sensor rumit juga dapat menghambat aliran air didalam tangki yang menyebabkan penyebaran panas tidak merata[4], maka dari itu penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan (ANSYS Fluent) salah satu *software* CFD, dengan simulasi juga kita dapat mengetahui nilai pelepasan kalor kumulatif, laju pelepasan kalor dan laju penurunan suhu air (HTF).

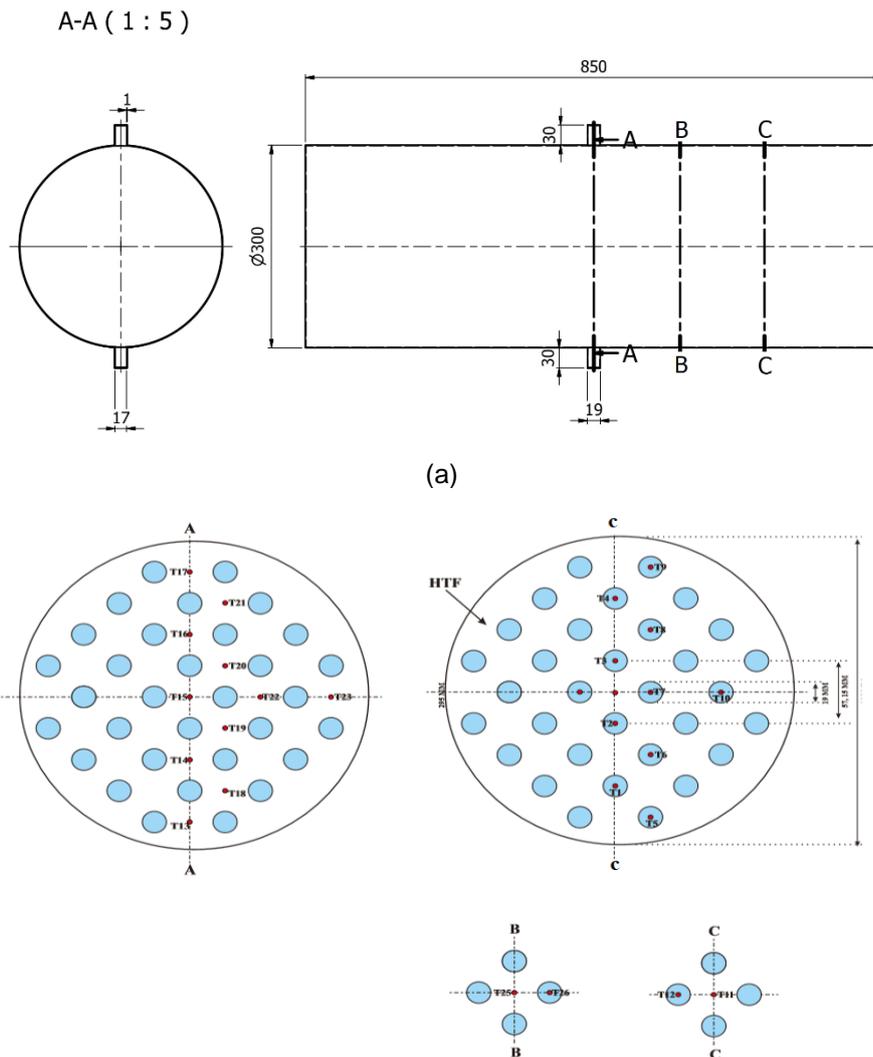
Hasil simulasi nantinya akan dibandingkan dengan penelitian secara eksperimen untuk memvalidasi data yang dihasilkan, selain itu digunakan sebagai acuan dalam penelian TES dengan penyimpan panas LHS berisikan PCM berupa *Paraffin wax* ataupun campuran *paraffin wax* dengan serbuk tembaga. Studi simulasi yang menggunakan *Computational Fluid Dynamic (CFD)*, *software ANSYS Fluent* adalah salah satu *software* CFD yang dapat digunakan dalam pengujian TES secara studi simulasi. Dalam pengujian tersebut diharapkan mendapat penyelesaian yang sistematis serta dapat melihat hasil konturnya secara 3D [5].

2. Metode Penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

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

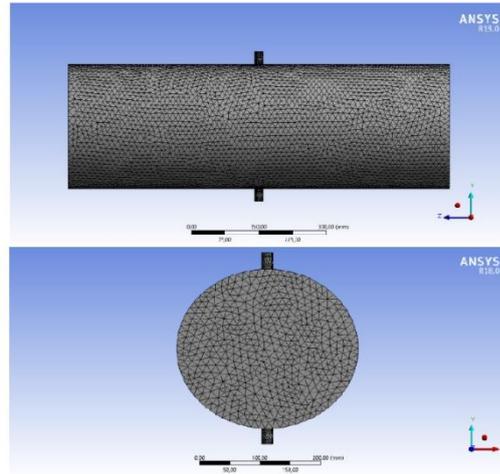


Gambar 2. (a) Geometri Tangki (b) Posisi Termokopel pada Tangki

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Tangki TES berisikan air yang didalamnya terdapat termokopel.
2. penelitian dilakukan pada saat kondisi discharging secara bertahap.
3. Kerugian kalor melalui permukaan tangki yang diisolasi diabaikan.
4. Aliran dianggap laminar

Meshing dilakukan dengan nilai rata-rata *skewness* 0,22065 dan nilai rata-rata *orthogonal* 0,87725. 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 di dapatkan berasal dari 25 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 HTF pada penelitian ini pada proses discharging secara bertahap. Penyajian data menggunakan kurva dan *contour*.

Tabel 1. pembagian kelompok pada termokopel di HTF

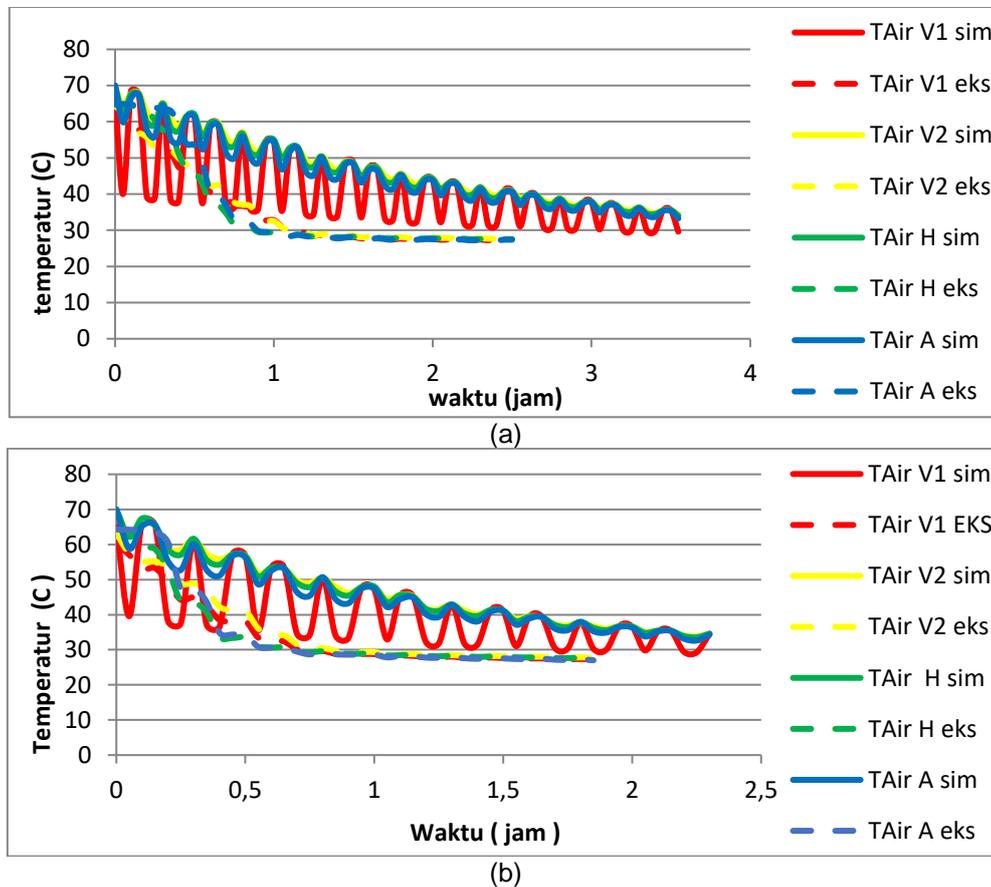
Nama	Posisi	Termokopel
T Air V1	Baris Vertikal 1	T13, T1, T14, T2, T15, T3, T16, T4, dan T17
TAir V2	Baris Vertikal 2	T5, T18, T6, T19, T7, T20, T8, T21, dan T9
TAir H	Baris Horizontal	T15, T7, T22, T10 dan T23
TAir A1	Baris Aksial 1	T15, T25, dan T11
TAir A2	Baris Aksial 2	T7, T26, dan T12

Gambar 4. menunjukan perbandingan evolusi temperatur HTF proses *charging* pada simulasi dan eksperimen. Temperatur pada arah vertikal yang ditunjukkan TairV1 dan TAir V2 pada simulasi mengalami penurunan temperatur paling cepat daripada arah posisi lain. hal tersebut disebabkan karena arah vertikal dekat dengan inlet. Namun pada eksperimen penurunan paling cepat tersebut hanya terjadi di awal-awal, penurunan tercepatnya berganti pada TAir H yg kemudian akan berganti lagi dan cenderung konstan pada TAir A, Hal ini disebabkan karena adanya turbulensi air di dalam tangki dimana air dingin dari inlet akan mengalir melalui arah vertikal dan setelah mencapai puncaknya kemudian air akan mengalir menuju dinding-dinding atas tangki sampai baris horizontal air akan memutar menuju arah vertikal, semakin besar variasi debit yang digunakan maka akan semakin besar juga turbulensi yang terjadi hal tersebut dapat dilihat pada grafik dimana semakin besar variasi debit maka penurunan temperatur paling cepat akan berganti lebih cepat juga. Selain itu dapat dilihat bahwa penurunan temperatur pada eksperimen lebih

cepat dibanding pada simulasi. Hal ini disebabkan karena kondisi temperatur *inlet* yang tidak konstan. Sementara nilai deviasi yang erkecil pada variasi 1,5 LPM yaitu TAir A dan pada variasi 2,5 LPM yaitu TAir V1.

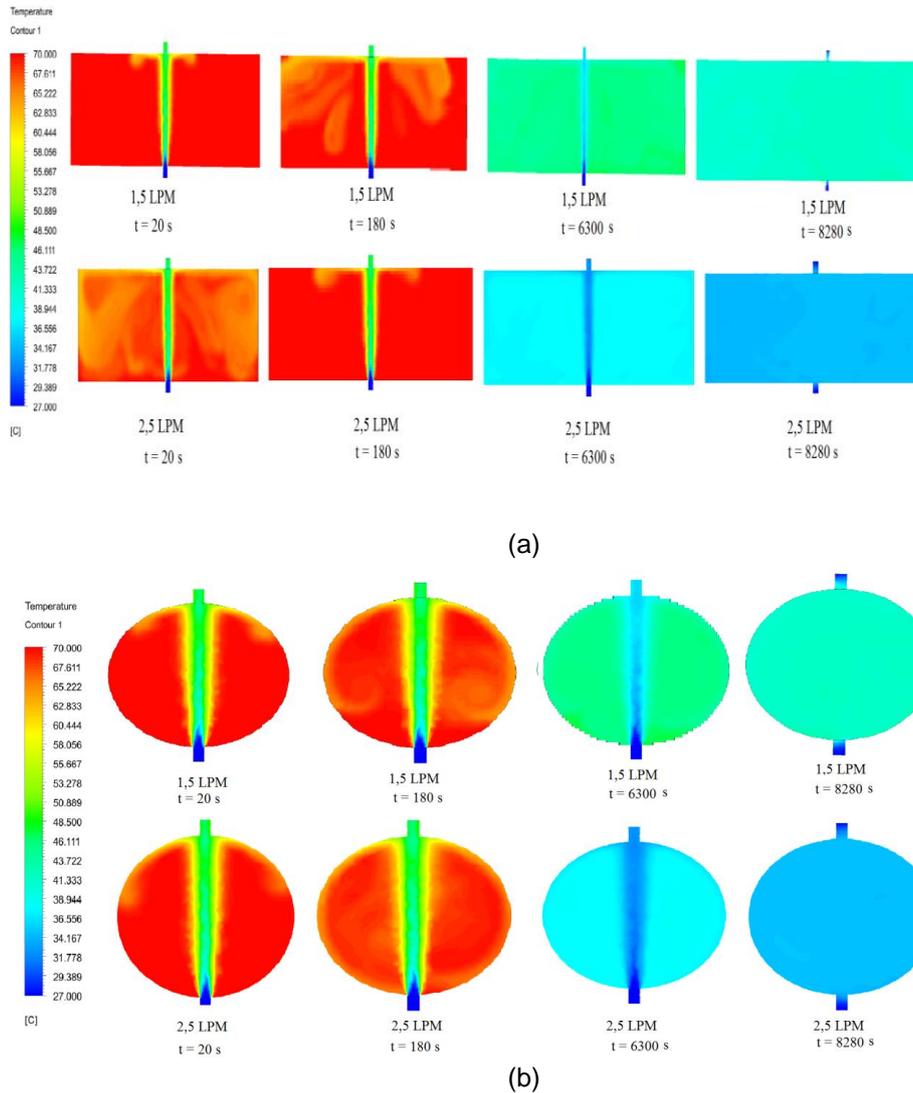
Tabel 2. Hasil Perbandingan Pengujian *discharging*

Variasi	Waktu (jam)		Deviasi
	Simulasi	Eksperimen	
1,5 LPM	3,55	2,5	29,52%
2,5 LPM	2,3	1,85	19,56 %



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

Gambar 5. menunjukkan besarnya variasi debit berpengaruh pada waktu penurunan temperatur, pada variasi debit 2,5 LPM lebih cepat daripada 1,5 LPM juga dibuktikan pada detik ke 6300 *contour* variasi 2,5 LPM di dominasi warna biru, sedangkan untuk detik yang sama *contour* 1,5 LPM warna hijau lebih mendominasi.



Gambar 5. *Contour Evolusi Temperatur HTF pada Proses Discharging secara diskontinyu 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.

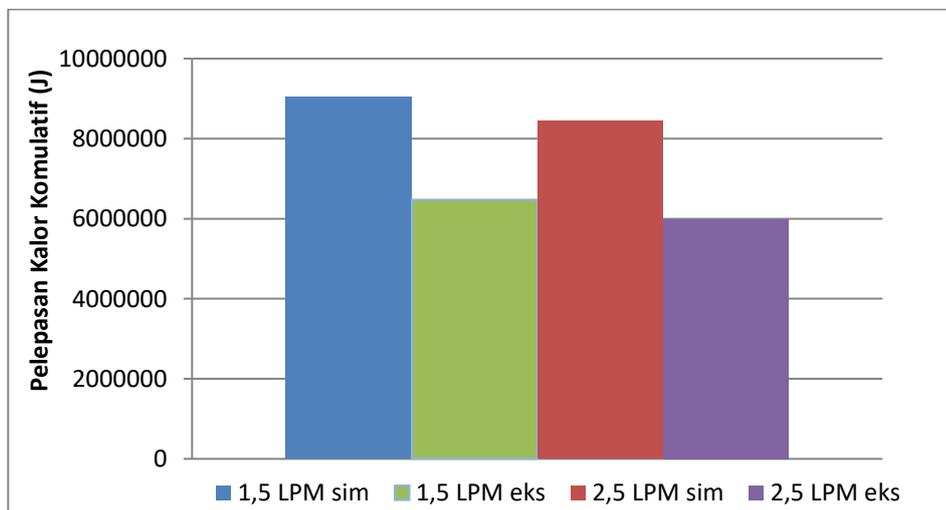
$$\begin{aligned}
 Q \text{ Kumulatif} &= m \times (H_i - H_f) \dots\dots\dots (1) \\
 &= \rho \times V_{\text{tangki}} \times (H_{\text{awal}} - H_{\text{akhir}}) \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,060083 \text{ m}^3 \times (182738,44 - 32156,58) \text{ J/kg} \\
 Q_{\text{kum}} &= 9047403,57 \text{ J}
 \end{aligned}$$

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

No	Variasi Debit (LPM)	Pelepasan kalor kumulatif (J)	Deviasi
1	1,5 sim	9047403,57	28,41 %
2	1,5 eks	6477267,69	
3	2,5 sim	8439528,875	29,12 %
4	2,5 eks	5981779,82	

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. Pada variasi debit 1,5 LPM nilai laju pelepasan kalor dapat di hitung sebagai berikut :

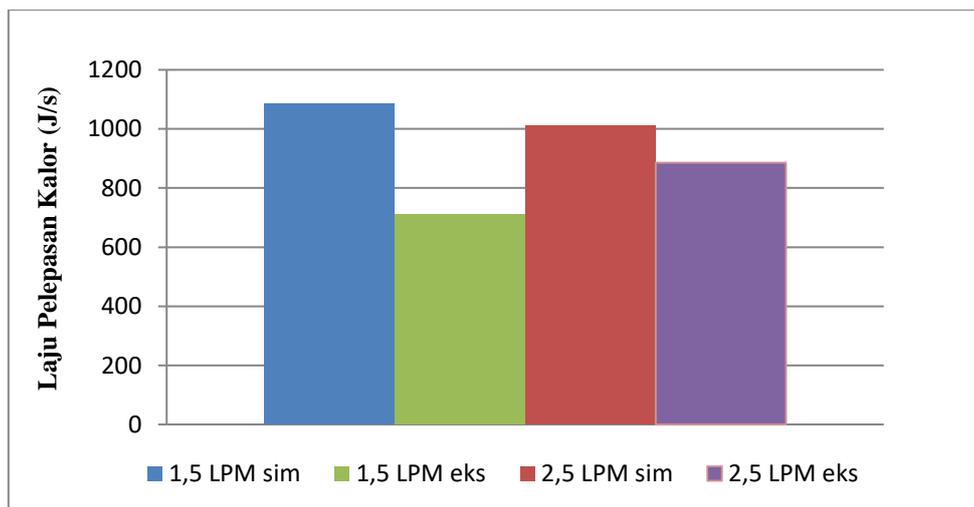
$$\begin{aligned} \dot{Q} &= Q / \Delta t \\ &= Q_{kum} / t_{total} \\ &= 6.815.830,07 \text{ J} / 11485 \text{ s} \\ \dot{Q} &= 593,45 \text{ J/s} \end{aligned}$$

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 1,5 LPM lebih besar dibandingkan pada variasi 2,5 LPM. Hasil yang didapat dari perbandingan ini adalah laju pelepasan kalor pada eksperimen memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan laju pelepasan kalor simulasi.

Tabel 4. Data Laju Pelepasan Kalor Air

No	Variasi Debit (LPM)	Nilai Laju Pelepasan Kalor (J/s)	Deviasi
1	1,5 sim	1085,080783	34,54 %
2	1,5 eks	710,23	
3	2,5 sim	1012,176646	12,51 %
4	2,5 eks	885,53	

Gambar 7. Grafik Laju Pelepasan Kalor, menunjukkan bahwa besarnya debit yang dialirkan akan mempengaruhi nilai laju pelepasan kalor. Semakin besar variasi debit air maka akan semakin kecil laju pelepasan kalornya namun hal yang berbeda terjadi pada laju pelepasan kalor pada eksperimen untuk eksperimen menunjukkan semakin besar variasi debit yang digunakan maka akan semakin besar laju pelepasan kalornya..



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.

$$\begin{aligned} \text{Laju penurunan temperatur air} &= \frac{\Delta \text{ Temperatur Air } [^{\circ}\text{C}]}{\Delta \text{ Waktu air [Jam]}} \\ &= (63,61616 - 30,66186) \times 3600 / 11485 \end{aligned}$$

$$\text{Laju penurunan suhu air} = 10,33^{\circ}\text{C/Jam}$$

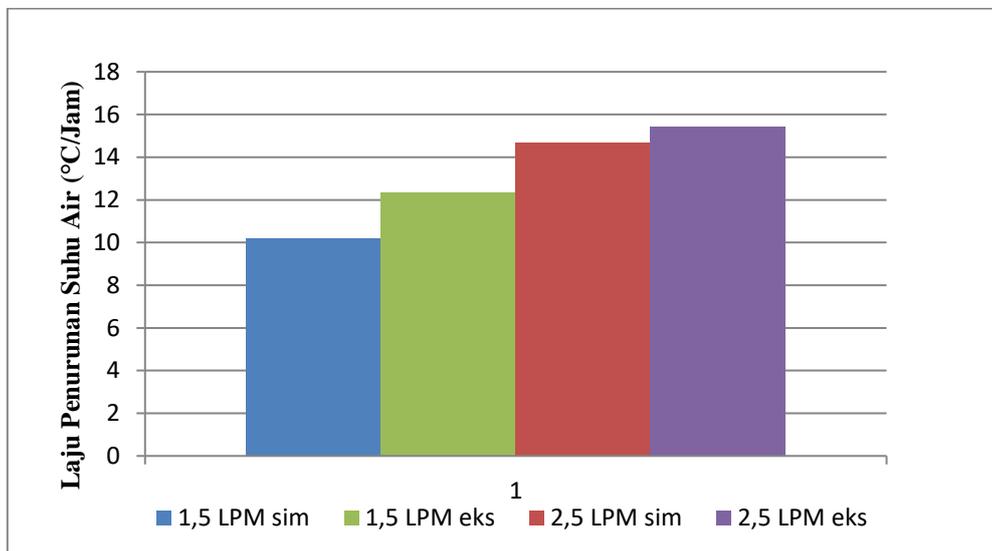
Pada tabel 5 menjelaskan laju penurunan temperatur air pada proses *discharging* dengan variasi 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Nilai laju penurunan temperatur pada variasi 2,5 LPM lebih besar dibandingkan pada variasi 1,5 LPM. Nilai penurunan temperatur pada pengujian eksperimen lebih besar dibandingkan pada pengujian 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

No	Variasi Debit (LPM)	Laju Penurunan Suhu Air (°C/Jam)	Deviasi
1	1,5 sim	10,22	20,93 %
2	1,5 sim	12,36	
3	2,5 eks	14,70	4,82 %
4	2,5 eks	15,41	

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 penurunan temperatur air. 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 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 :

1. Evolusi temperatur pada TES menunjukkan bahwa temperatur di dalam tangki berfluktuasi walaupun tidak signifikan, HTF pada bagian arah *inlet* dan *outlet* mengalami penurunan paling cepat juga terjadinya aliran *turbulen* di dalam tangki, selain itu waktu yang diperlukan HTF mencapai temperatur 35°C pada simulasi lebih lama dibanding waktu pada eksperimen.
2. 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 9.047.403,57 J, sedangkan pada eksperimen yaitu 6.477.267,69 J. Hasil laju pelepasan kalor kumulatif variasi debit 2,5 LPM pada simulasi yaitu 8.439.528,875J, sedangkan pada eksperimen 5.981.779,82 J.
3. 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 1.085,08 J/s, dan pada eksperimen 710,23 J/s. Sedangkan untuk variasi 2,5 LPM didapat hasil simulasi yaitu 1.012,17 J/s, dan eksperimen 885,53 J/s.
4. Laju penurunan suhu air pada simulasi memiliki hasil yang lebih kecil daripada eksperimen. Hasil laju penurunan suhu air variasi 1,5 LPM yaitu 10,22°C/jam, dan eksperimen yaitu 12,36 °C/jam. Sedangkan untuk variasi 2,5 LPM didapat hasil simulasi yaitu 14,70 °C /jam, dan eksperimen 15,41 °C /jam.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Lubis, Zulkifli, 2004. Perbandingan Pemanas Air Konvensional Dengan Pemanas Air Surya Komersil. Universitas Sumatra Utara.
- [2] Sidopekso, Satwiko. 2011. Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air. Universitas Negri Jakarta.
- [3] Nadjib, M., dan Suhanan. 2014. Kajian Perpindahan Kalor Pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kapsul PCM Pipa-banyak Susunan Segaris. Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII, ISBN 978 602 98412 31 7, 403 – 435.
- [4] Rusadi. 2017. Pengaturan Laju Aliran untuk Meningkatkan Laju Perpindahan Panas pada *Solar Water Heater* di Kota Pontianak. Universitas Tanjungpura Pontianak.
- [5] Marsah, Tri. S. 2014. Simulasi Pelelehan dan Pembekuan pada *Phase Change Material* di Dalam Pemanas Air Tenaga Surya dengan Menggunakan Metode Perhitungan Komputasi Dinamik. Universitas Sumatra Utara.