

## **ANALISA PROSES MELTING DAN SOLIDIFICATION PADA PHASE CHANGE MATERIAL PADA SOLAR WATER HEATER DENGAN MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC**

Tri Septian M.<sup>1</sup>, Tulus B Sitorus<sup>2</sup>, Terang UHS Ginting<sup>3</sup>, Farel H. Napitupulu<sup>4</sup>, Farida Ariani<sup>5</sup>, Dian M. Nasution<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Email: tri01091991@gmail.com

### **ABSTRAK**

*Solar Water Heater* merupakan pemanas air dengan memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi penghasil panasnya. *Solar Water Heater* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sistem penyimpanan panas sementara yaitu dengan menggunakan *Phase Change Material*. Hal ini dilakukan supaya pemanas air dapat digunakan hingga malam hari. Oleh karena biaya pabrikasi yang mahal maka perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan komputer. Penelitian ini berfokus pada proses pelelehan dan pembekuan pada *Phase Change Material* yang disinari matahari mulai dari pagi hingga malam hari serta membandingkan hasil eksperimen dan analisa numerik *Software Fluent* perpindahan panas yang terjadi pada *Solar Water Heater*. *Solar Water Heater* yang disimulasikan dalam bentuk dua dimensi dengan ukuran geometri sebesar 1025 X 160 mm sedangkan data radiasi matahari yang digunakan untuk mensimulasikan *Solar Water Heater* yaitu pada tanggal 28 September 2013. Saat disimulasikan pada *Software Fluent*, kondisi batas radiasi matahari diberikan dibagian atas plat absorber pada geometri *Solar Water Heater*. Hal ini dikarenakan panas radiasi matahari mentransmisikan panasnya menembus kaca pertama dan kaca kedua pada kolektor hingga mengenai plat absorber. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa bagian kolektor yang paling tinggi temperaturnya adalah pada bagian plat absorber dengan suhu temperatur sebesar 95°C sedangkan *Phase Change Material* selaku sistem penyimpanan panas sementara pada kolektor mulai meleleh sekitar pukul 11.00 WIB sedangkan untuk proses pembekuan mulai terjadi sekitar jam 19.00 WIB. Hasil perbandingan nilai eksperimen dan analisa numerik *Software Fluent* mengalami persen galat pada bagian kaca pertama, kaca kedua dan plat absorber berturut-turut adalah 2.3%, 0.87% dan 3.59%.

*Kata Kunci : Solar Water Heater, Phase Change Material, Cfd*

### **1. PENDAHULUAN**

Sumber energi berjumlah besar dan kontinu terbesar yang tersedia bagi umat manusia adalah energi surya dan energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari. Energi surya sangat aktif karena tidak bersifat polutif dan tidak dapat habis. Akan tetapi arus energi yang rendah mengakibatkan digunakannya sistem dan kolektor yang permukaannya luas untuk mengumpulkan dan mengkonsentrasikan energi matahari ini [1].

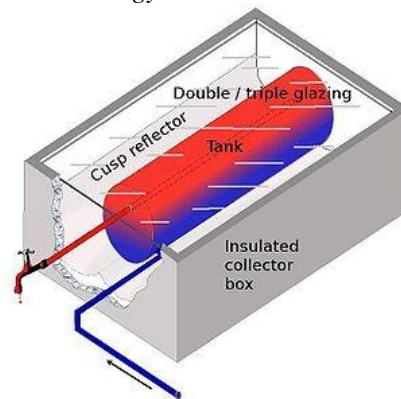
Penelitian tentang pemanas air energi surya ini bukanlah ide baru dalam dunia teknologi rekayasa surya, sebelumnya telah banyak para peneliti yang telah meneliti hal ini sebelumnya seperti Burhanuddin, A[2] (2005) melakukan penelitian mengenai kolektor surya plat datar dengan variasi jarak penutup 30 mm, 60 mm dan 90 mm serta sudut kemiringan kolektor 10°, 20°, 30°, dan 40°. Dalam penelitian ini Burhanuddin melaporkan bahwa perbedaan temperatur output-input yang sangat signifikan terjadi pada kolektor surya yang memiliki jarak penutup sebesar 30 mm dengan sudut kemiringan kolektor 10°, hal ini dikarenakan sudut 10° lebih mendekati sudut zenit dibanding sudut lainnya. Menurut Satwiko dkk[3] (2011) yang meneliti mengenai rancang bangun kolektor surya menggunakan 2 jenis kaca kolektor yaitu kaca transparan dan kaca kristal melaporkan bahwa kaca kolektor yang lebih efektif digunakan pada kolektor surya yaitu jenis kaca transparan. Hal ini dikarenakan nilai temperatur yang dihasilkan menggunakan kaca transparan jauh lebih tinggi dibandingkan kaca kristal yaitu sebesar 80°C sedangkan temperatur pada bagian absorber kolektor surya dengan menggunakan kaca kristal sebesar 70°C. Liu, Z dkk[4] (2004) juga meneliti mengenai pengaruh sirip pada kolektor surya terhadap proses pemadatan *stearic acid* saat proses *discharging*. Hasil penelitian Liu, Z dkk menunjukkan bahwa sirip tembaga dapat meningkatkan perpindahan panas konduksi dan konveksi alami pada PCM sehingga dapat meningkatkan sekitar 250% proses pemadatan pada PCM. Dari berbagai penelitian tersebut maka penulis melakukan penelitian ini

bertujuan untuk melihat proses meleleh dan pepadatan pada PCM dengan menggunakan kaca penutup jenis transparan dan jarak antar kaca penutup sebesar 20 mm. Berikutnya hasil data dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sejarah Solar Water Heater

Pemanas air bertenaga surya pertama tercatat sudah digunakan sebelum tahun 1900. Konsep pemanas air pada saat itu sangatlah sederhana yaitu tangki yang berisi air dicat dengan warna hitam dan dipasang di atas atap rumah, modelnya dalam dilihat pada gambar 2.1. Clarence M Kemp merupakan orang yang pertama membuat konsep *solar water heater* tersebut. Pada tahun 1881, Clarence M Kemp mendirikan perusahaan yang bernama “C.M Kemp”. Desain dasar dari Clarence inilah yang menjadi acuan untuk perkembangan *solar water heater* kedepannya sehingga beliau dinobatkan sebagai “*The father of solar energy*”.



Gambar 2.1 Ilustrasi model pemanas air Clarence

Seorang insinyur California bernama William J. Bailey menemukan kekurangan dari model pemanas air Clarence tersebut yaitu air panas yang didalam tangki akan mengalami penurunan suhu di malam hari dikarenakan suhu pada malam hari jauh lebih rendah dibandingkan suhu pada air di tangki sehingga pada saat pagi hari, air di tangki tidak terlalu panas untuk dipergunakan. Pada tahun 1909, Bailey menemukan solusi dari permasalahan yang terdapat pada model pemanas air pertama tersebut yaitu dengan cara memisahkan antara tangki air dan kolektor pemanas air tersebut. Kolektor surya yang digunakan terdiri dari pipa plat logam bercat hitam yang dimasukkan di dalam sebuah kotak kaca yang tertutup rapat dan dihubungkan ke tangki air yang terletak di atas kolektor tersebut. Model dan konsep Bailey tersebut masih dipergunakan hingga sekarang yang dikenal dengan nama “Kolektor Flat” (lihat gambar 2.2).



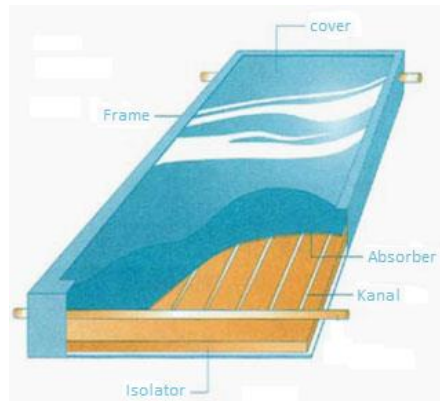
Gambar 2.2 Model dan konsep Bailey

## 2.2. Komponen Solar Water Heater

Solar water heater memiliki beberapa komponen utama dalam proses pemanasan air. Berikut beberapa hal yang perlu kita ketahui mengenai komponen utama serta prinsip kerja pada solar water heater yaitu sebagai berikut :

### 1. Kolektor panas

Kolektor panas dapat didefinisikan sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan cara memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utamanya. Ketika cahaya matahari mengenai adsorber pada kolektor, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan sedangkan sebagian besarnya lagi diserap dan dikonversikan menjadi energi panas. Selanjutnya panas tersebut akan didistribusikan ke fluida yang mengalir di dalam kolektor, sehingga fluida yang panas dapat digunakan dengan berbagai aplikasi.



Gambar 2.3 Skema solar water heater

Kolektor panas pada umumnya memiliki beberapa bagian utama, yaitu :

- Cover, fungsinya menerima sinar radiasi matahari serta untuk mengurangi rugi panas secara konveksi dari lingkungan.
- Absorber, fungsinya untuk menyerap panas dari radiasi sinar matahari
- Kanal, fungsinya sebagai saluran transmisi fluida.
- Isolator, fungsinya meminimalisasi kehilangan panas secara konduksi dari absorber.
- Frame, fungsinya sebagai struktur pembentuk dan penahan beban kolektor

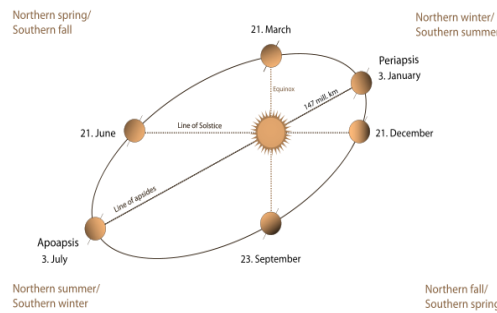
### 2. Tangki penyimpanan

Tangki penyimpanan merupakan tempat untuk menyimpan air yang akan dipanaskan. Tangki akan dihubungkan dengan kolektor panas melalui kanal untuk mengalirkan air supaya air menjadi cukup panas untuk dipergunakan. Biasanya untuk mencegah terjadinya *heat loss* pada tangki, tangki penyimpanan dilapisi dengan lapisan isolasi sehingga dapat meminimalisir kehilangan panas yang terjadi.

## 2.3. Radiasi matahari

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium (ini yang menyebabkan mengapa perpindahan panas radiasi sangat penting pada ruang vakum), disamping itu jumlah energi yang dipancarkan sebanding dengan temperatur benda tersebut [5].

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk ellipse, maka jarak antara bumi dan matahari adalah tidak konstan. Jarak terdekat adalah  $1,47 \times 10^{11}$  m yang terjadi pada tanggal 3 Januari 2011, dan jarak terjauh pada tanggal 3 Juli dengan jarak  $1,52 \times 10^{11}$  m. Karena adanya perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda.



Gambar 2.4 Pergerakan bumi terhadap matahari

Persamaan daya radiasi pada atmosfer ( $G_{on}$ ) yang diajukan oleh Spencer tahun 1971 adalah [5]:

$$G_{on} = G_{sc} (1.0011 + 0.03.422 \times 10^{-2} \cos B + 1.28 \times 10^{-3} \sin B + 7.19 \times 10^{-4} \cos 2B + 7.7 \times 10^{-5} \sin 2B) \quad (1)$$

Dengan nilai  $B$  sebagai berikut.

$$B = \frac{(n-1)360}{365} \quad (2)$$

## 2.4 Phase Change Material (PCM)

*Phase-change material* (PCM) adalah material yang memiliki panas fusi yang tinggi dan dapat meleleh dan membeku pada suhu tertentu. Material bersifat PCM ini mampu menyimpan dan melepaskan energi dengan besar tertentu. Penyerapan atau pelepasan panas terjadi saat perubahan fasa dari padat ke cair atau sebaliknya, dengan demikian material PCM diklasifikasikan sebagai bahan penyimpanan panas laten.

### 2.4.1 Stearic acid

Stearic acid (asam stearat) adalah asam lemak jenuh yang memiliki berbagai kegunaan seperti sebagai komposisi tambahan dalam makanan, komestik dan produk industri.

Asam stearat berbentuk padatan pada temperatur ruang. Padatan tersebut berupa butiran seperti gula pasir yang berwarna putih seperti lilin. Asam stearat tidak larut dalam air. Asam stearat akan mencair pada suhu  $69,5^{\circ} \text{C}$  dan mendidih pada suhu  $361^{\circ} \text{C}$ . Massa jenis dari asam stearat adalah  $0,847 \text{ g/cm}^3$ . Kalor jenis solid dan liquid masing-masing adalah  $1763 \text{ J/kg.K}$  dan  $2359,42 \text{ J/kg.K}$ . Asam stearat memiliki kalor lebur  $198,9 \text{ kJ/kg}$  [6].

## 2.5 Computational Fluid Dynamic

CFD merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida. CFD merupakan seperangkat cara untuk menganalisa dinamika fluida yang terjadi pada suatu benda termasuk aliran udara, perpindahan panas, dan fenomena lain yang terkait seperti reaksi kimia berdasarkan simulasi komputer. CFD dibangun atas beberapa persamaan yang dikenal dengan istilah "Governing Equations". Untuk kasus dua dimensi, persamaan tersebut ditunjukkan oleh persamaan (3),(4),(5) dan (6) sebagai berikut [7][8]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

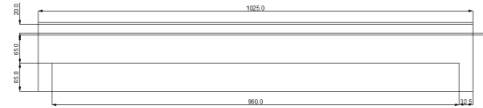
$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (6)$$

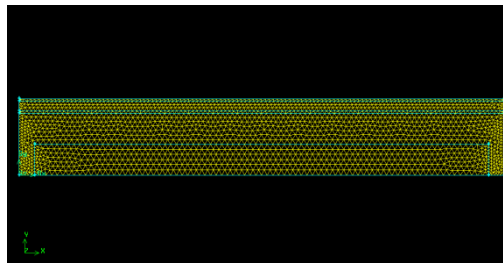
### 3. METODOLOGI

Simulasi yang dilakukan merupakan simulasi 2 dimensi berupa kolektor datar yang berisi penyimpan panas sementara yaitu *phase change material*. Langkah awal dalam melakukan simulasi yaitu pembentukan geometri menggunakan *software gambit 2.4*. Ukuran geometri yang disimulasi berdimensi 1025 x 160 mm dengan ketebalan kaca masing-masing sebesar 5 mm dan memiliki jarak gap sebesar 20 mm. Pemodelan geometri ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut:

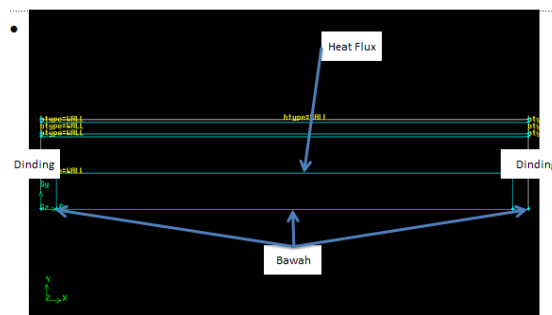


Gambar 3.1 Pemodelan geometri

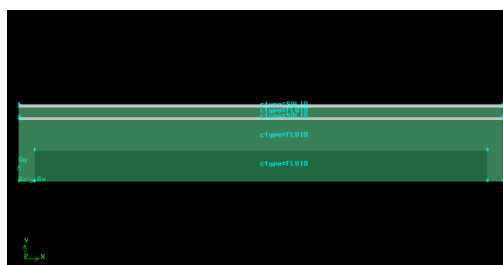
Setelah geometri berhasil dibentuk, langkah selanjutnya adalah melakukan *meshing* dan menentukan *boundary condition*. *Meshing* yang telah terbentuk beserta *boundary condition* ditampilkan pada gambar 3.2 dan 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Geometri yang sudah dimeshing.



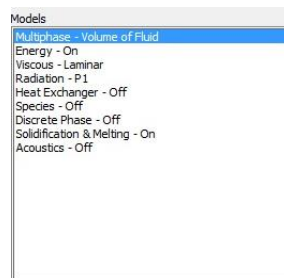
Gambar 3.3 menentukan kondisi batas



Gambar 3.3 Geometri yang sudah diberi kondisi batas.

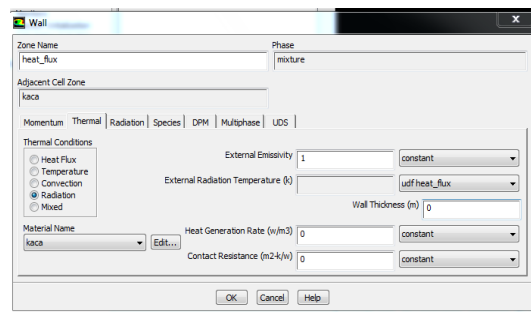
*Mesh* yang dibuat pada geometri dengan bentuk tetrahedral pada perhitungan CFD sedangkan pada analisa ANSYS dibuat dengan menggunakan bentuk *mesh tri pave* sedangkan kondisi batas pada garis yang akan digunakan adalah *wall*, semua bagian pada geometri diberikan kondisi batas *wall*. Untuk menentukan kondisi batas garis pada geometri dapat dilihat pada gambar 3.3. Sedangkan kondisi batas pada *face* yang akan digunakan adalah *fluid* dan *solid*. Menentukan kondisi batas pada *face* dapat dilihat pada gambar 3.4

Setelah pemberian kondisi batas maka selanjutnya mensimulasikan pada *software fluent 12.0*. Dalam kasus ini, model yang digunakan adalah Volume of Fluid pada multiphase, energy, laminar pada viscous, P1 pada radiation dan solidification and melting. Pemilihan model dapat dilihat pada gambar 3.5



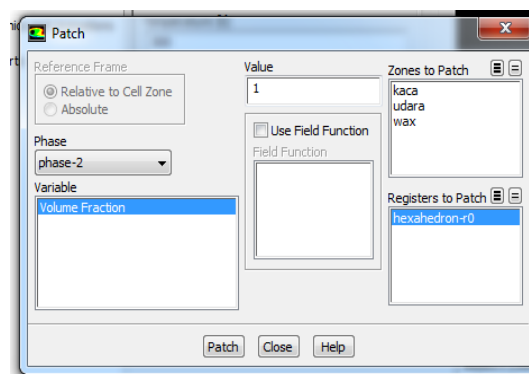
Gambar 3.5 menentukan jenis model simulasi

Setelah memilih model, selanjutnya memasukkan variable yang digunakan yaitu radiasi matahari. Tampilan menentukan jenis boundary condition untuk radiasi dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Menentukan nilai radiasi

Untuk mengatur posisi dan kepadatan pcm pada fluent maka dilakukan *patch volume fraction* pada phase-2 sehingga PCM dapat terbaca saat disimulasikan. Pengaturan *patch* dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaturan patch

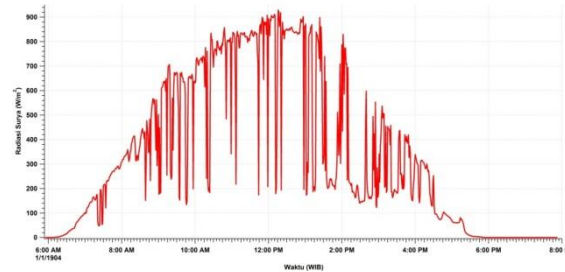
Setelah proses iterasi selesai, langkah selanjutnya adalah mengambil data temperatur pada tiap bagian kolektor. Data ini selanjutnya akan divalidasikan dengan data eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya.



#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Analisa Perpindahan Panas Pada Kolektor

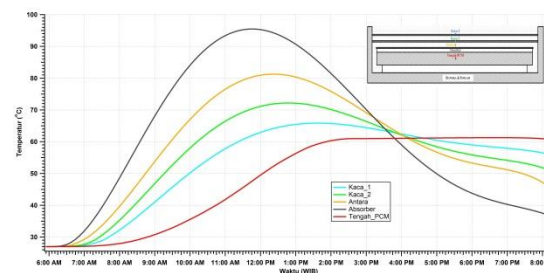
Berikut ditampilkan grafik radiasi matahari yang terjadi pada tanggal 28 september 2013 dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik radiasi matahari pada tanggal 28 september 2013

Data diambil dengan menggunakan alat Hobo microstation data logger yang fungsinya untuk mengukur beberapa parameter salah satunya adalah intensitas radiasi matahari yang berada di pasca sarjana Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara.

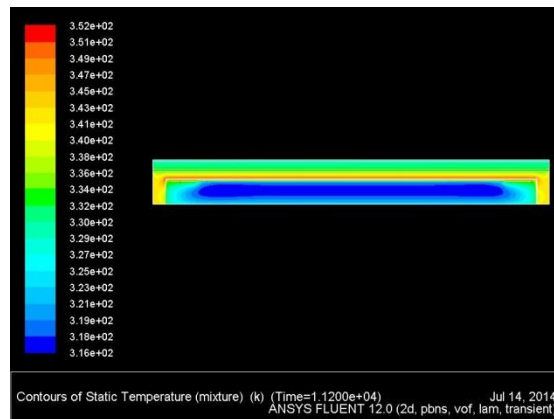
Dengan menggunakan data radiasi matahari pada tanggal 28 september 2013 maka simulasi dapat dilakukan. Simulasi dilakukan sesuai dengan hasil data yang diperoleh dari hobo microstation yaitu disimulasikan mulai dari jam 05:55 WIB hingga jam 20:00 WIB. Grafik distribusi temperatur yang terjadi pada tiap bagian kolektor dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik distribusi temperatur pada tiap bagian kolektor

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa grafik pada tiap bagian mengalami kenaikan suhu mulai dari jam 6:30 WIB hingga jam 12:00 WIB. Hal ini terjadi dikarenakan adanya perubahan posisi ketinggian matahari sehingga matahari memancarkan sinarnya lebih besar dari sebelumnya. Pada jam 12:00 WIB sampai dengan jam 16:00 WIB temperatur pada kolektor pemanas air mengalami penurunan, hal ini disebabkan saat jam tersebut terjadi mendung sehingga radiasi matahari yang diterima jauh lebih sedikit sehingga temperatur yang terjadi pada kolektor mengalami penurunan yang signifikan. Selanjutnya temperatur tidak mengalami perubahan yang signifikan disaat jam 16:00 WIB hingga jam 17:00 WIB, hal ini disebabkan radiasi matahari yang disinari pada kolektor pemanas air tersebut menerima besar radiasi sekitar  $250 \text{ W/m}^2$  sehingga temperatur yang terjadi pada kolektor stabil. Jam 17:00 WIB temperatur pada kolektor mengalami penurunan suhu karena radiasi matahari sudah mulai berkurang.

Distribusi temperatur yang terjadi pada kolektor pemanas air yang disinari selama 11.200 sekon dapat dilihat pada gambar 4.3.

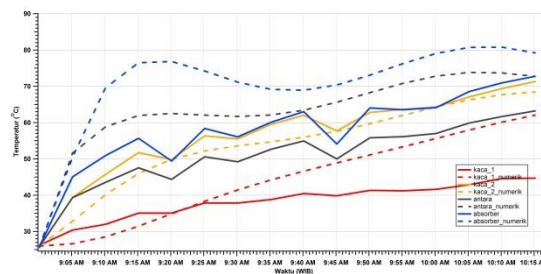


Gambar 4.3 Distribusi temperatur radiasi pada kolektor dengan dipanasi dibawah sinar matahari selama 11.200 sekon.

Pada gambar 4.3 menjelaskan terjadinya distribusi temperatur pada kolektor yang dipanasi di bawah radiasi sinar matahari selama 11.200 sekon. Variasi warna yang ditampilkan mewakili besarnya temperatur yang terjadi pada kolektor pemanas air bertenaga surya tersebut. Bagian kolektor yang memiliki temperatur paling tinggi yaitu bagian plat absorber, hal ini disebabkan radiasi matahari yang memasuki bumi menembus bagian kaca pertama dan kedua dan panas matahari diserap oleh plat absorber sehingga temperatur plat absorber menjadi lebih tinggi dari bagian-bagian lainnya pada kolektor. Sedangkan bagian kolektor yang memiliki temperatur yang paling rendah yaitu pada bagian PCM, hal ini karena sebelum radiasi matahari mencapai ke bagian PCM, radiasi melewati beberapa bagian pada kolektor sehingga radiasi matahari mengenai bagian wadah TES juga berkurang.

#### 4.2 Validasi Terhadap Eksperimen

Validasi dilakukan dengan membandingkan antara hasil dari analisa numerik dengan data hasil dari eksperimen. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui keabsahan hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software*. Pada gambar 4.4 menunjukkan perbandingan antara hasil dari analisa numerik dan hasil dari eksperimen yang dilakukan pada tanggal 28 september 2013.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan temperatur antara hasil dari analisa numerik dan dari eksperimen pada tanggal 28 september 2013

Pada gambar 4.8 menunjukkan bahwa perbedaan hasil numerik dan eksperimen tidak terlalu berbeda signifikan. Temperatur yang diambil hanya pada jam 09:00–10.15 WIB dikarenakan pada saat itu dilakukan eksperimen sehingga diperoleh temperatur tiap bagian pada kolektor. Temperatur paling tinggi pada bagian kaca pertama secara numerik adalah 62.06 °C sedangkan temperatur rata-rata yang diperoleh dari hasil eksperimen adalah 44.72 °C. Temperatur paling rendah pada bagian kaca pertama secara numerik adalah 26 °C sedangkan hasil dari eksperimen sebesar 26.24 °C. Maka jika dihitung persen galat yang terjadi untuk temperatur tertinggi pada kaca pertama adalah 5.18% sedangkan untuk temperatur terendah adalah 0.08%. Perbedaan yang terjadi disebabkan diabaikannya energi konveksi paksa yang terjadi pada kolektor saat simulasi dilakukan.

Pada bagian kaca kedua temperatur paling tinggi pada bagian kaca kedua secara numerik adalah 68.44 °C sedangkan temperatur rata-rata yang diperoleh dari hasil eksperimen adalah 71.33 °C. Temperatur paling rendah pada bagian kaca kedua secara numerik adalah 26.01 °C sedangkan hasil



dari eksperimen sebesar 25.93 °C. Maka jika dihitung persen ralat yang terjadi untuk temperatur tertinggi pada kaca kedua adalah 0.84% sedangkan untuk temperatur terendah adalah 0.03%. Perbedaan yang terjadi disebabkan diabaikannya energi konveksi natural yang terjadi pada kaca kedua.

Selanjutnya pada bagian antara kaca kedua dan plat absorber mengalami temperatur paling tinggi secara numerik sebesar 73.82 °C sedangkan temperatur rata-rata yang diperoleh dari hasil eksperimen adalah 59.89 °C. Temperatur paling rendah secara numerik adalah 25.60 °C sedangkan hasil dari eksperimen sebesar 25.85 °C. Maka jika dihitung persen ralat yang terjadi untuk temperatur tertinggi adalah 4.02% sedangkan untuk temperatur terendah adalah 0.08%.

## 5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Phase change material didalam kolektor akan mulai mengalami proses pelelehan jika kolektor disinari di bawah radiasi matahari selama 25.500 detik ( $\pm 7$  jam) atau pada pukul 13:00 WIB sedangkan akan mengalami pembekuan pada pukul 19:00 hal ini terjadi karena intensitas matahari mengalami penurunan yang drastis.
2. Perbandingan hasil pengukuran eksperimen dan simulasi mengalami perbedaan ralat pada bagian kaca pertama, kaca kedua, antara kaca kedua dan plat absorber dan plat absorber berturut-turut adalah 2.3%, 0.87%, 3.63% dan 3.59%. hal ini disebabkan beberapa faktor yang diabaikan saat menjalankan simulasi.
3. Bagian kolektor yang mengalami temperatur yang sangat tinggi yaitu pada bagian plat absorber sebesar 95°C.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kribus, E., Talmatsky, A. *PCM storage for solar DHW: An unfulfilled promise?*. Elsevier. 2008.
- [2] Burhanuddin, A., 2005, Karakteristik kolektor surya plat datar dengan variasi jarak penutup dan sudut kemiringan kolektor, FMIPA Fisika Universitas Sebelah Maret, Surakarta
- [3] Sidopekso, S., Widorini, 2011, Studi rancang bangun solar water heater menggunakan berbagai jenis kaca kolektor, FMIPA Fisika Universitas Negeri Jakarta, Jakarta
- [4] Liu, Z., Sun, X., dan Ma, C., 2004, Experimental study of characteristics of solidification of stearic acid in an annulus and its thermal conductivity enhancement, Beijing university of technology, Beijing
- [5] Ambarita, Dr. Eng. Himsar. 2011. *Energi Surya*. Medan : Departemen Teknik Mesin
- [6] Reddy, R. Meenakshi, dkk. 2012. *Thermal energy storage system using phase change materials – constant heat source*, Jurnal Elsevier
- [7] Yunus A. Cengel. *HeatTransfer A Practical Approach, Second Edition*. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore
- [8] Incropera, Frank P., David P. Dewitt. 1985. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc. : New York