

EVALUASI NUMERIK TANGKI PENYIMPANAN PANAS DENGAN VERIFIKASI EKSPERIMEN UNIVERSITAS TELKOM

NUMERICAL EVALUATION OF HEAT STORAGE TANK WITH EXPERIMENTAL VERIFICATION TELKOM UNIVERSITY

Yohanes Brahmantyo Mahardhika¹, Tri Ayodha Ajiwiguna², Fatahah Dwi Ridhani³
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
yohanesbrahm@student.telkomuniversity.ac.id¹, triayodha@telkomuniversity.ac.id²,
ridhani@telkomuniversity.ac.id³

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang evaluasi secara numerik peristiwa perpindahan panas pada tangki penyimpanan energi termal yang menggunakan air sebagai media. Tangki penyimpanan energi termal memiliki dimensi dengan diameter 30 cm dan tinggi 50 cm. Pada penelitian ini, diasumsikan tangki diisolasi oleh lapisan *polyfoam* sebagai insulator termal dengan berbagai kondisi ketebalan. Tangki diletakkan pada kondisi temperatur udara sekitar sebesar 25 °C dan kondisi awal air di dalam tangki adalah 80 °C. Evaluasi secara numerik dilakukan dalam waktu 4 jam, yang hasilnya akan diverifikasi dengan hasil percobaan. Berdasarkan proses verifikasi yang dilakukan, nilai *error* evaluasi numerik yang diperoleh sebesar 8 %, 1,9 %, 1,5 %, 2,1 %, 2,7 % dengan nilai *heatloss* sebesar 19,3 J/s, 11,8 J/s, 8,6 J/s, 7,7 J/s, 2,9 J/s untuk kondisi sistem dengan ketebalan insulator termal sebesar 0, 0,5, 1, 2, 5 cm.

Kata Kunci : *tangki penyimpanan energi termal, perpindahan panas, laju kalor, insulator termal.*

ABSTRACT

This study discusses the numerical evaluation of heat transfer on thermal storage tank with water as medium. The dimension of tank is 30 cm diameter and 50 cm height. For study case, the tank is insulated by polyfoam layer with various thickness. The tank is located in 25 °C of ambient temperature and the initial condition of water inside the tank is 80 °C. The numerical evaluation is conducted for 4 hours. For validation, the result is than compared with the experiment. The error of numerical evaluation are obtained 8 %, 1.9 %, 1.5 %, 2.1 %, 2.7 % and the heatloss are 19.3 J/s, 11.8 J/s, 8.6 J/s, 7.7 J/s, 2.9 J/s for 0, 0.5, 1, 2, 5 cm thickness of insulation layer respectively.

Keywords : *thermal energy storage tank, heat transfer, heat rate, thermal insulation.*

1. Pendahuluan

Sistem yang tepat untuk memperlambat penurunan temperatur air adalah dengan membuat tangki penyimpanan energi termal [1]. Dalam pembuatan tangki penyimpanan energi termal, perlu dilakukan evaluasi secara numerik terhadap proses perpindahan panas yang terjadi pada sistem untuk meminimalisir terjadinya *heatloss*. Evaluasi numerik merupakan teknik perhitungan yang digunakan untuk menyederhanakan sebuah persamaan matematika yang rumit menjadi lebih sederhana [2].

Untuk meminimalisir terjadinya *heatloss* pada tangki penyimpanan energi termal, maka ditambahkan insulator termal, karena *heatloss* yang terjadi pada sebuah sistem dipengaruhi oleh bahan insulasi dan tebal insulasi [3]. Setiap jenis bahan insulator termal memiliki kemampuan menghambat proses pelepasan panas yang berbeda. Semakin buruk sebuah bahan menghambat proses pelepasan panas maka semakin besar nilai konduktifitas termalnya, sedangkan semakin baik sebuah bahan menghambat proses pelepasan panas maka nilai konduktifitas termalnya semakin kecil [4].

Penelitian ini akan fokus membandingkan laju penurunan temperatur pada tangki dengan pendekatan evaluasi secara numerik dan eksperimen dengan beberapa variasi ketebalan insulator termal. Insulator termal yang digunakan pada penelitian ini adalah *polyfoam* karena memiliki nilai konduktifitas termal yang kecil dan sifat bahannya yang mudah dibentuk.

2. Dasar Teori

Pada penelitian ini, perpindahan panas secara konduksi terjadi pada sistem dengan arah aliran konduksi berasal dari air yang bersinggungan langsung dengan permukaan dalam sistem menuju ke permukaan luar sistem. Peristiwa konduksi dapat diketahui menggunakan persamaan [2.1].

$$Q_{\text{konduksi dinding}} = \frac{2\pi L (T_{\text{air}} - T_s)}{\frac{R_2}{k_s} + \frac{R_3}{k_p}} \quad [2.1]$$

- T_{air} = Temperatur Air (K)
 T_s = Temperatur *Surface* (K)
 R_1 = Jari-Jari Dalam Tabung
 R_2 = Jari-Jari Luar Tabung
 R_3 = Jari-Jari Tabung dengan Isolator Termal
 k_s = Konduktifitas Termal *Stainless Steel* (W/mK)
 k_p = Konduktifitas Termal *Polyfoam* (W/mK)
 L = Panjang Karakteristik (m)

Konveksi alamiah (*natural convection*) terjadi karena fluida mengalir secara alamiah/tidak dipompa/tidak dihembus [5]. Mekanisme konveksi alami pada sistem dapat ditinjau dengan persamaan [2].

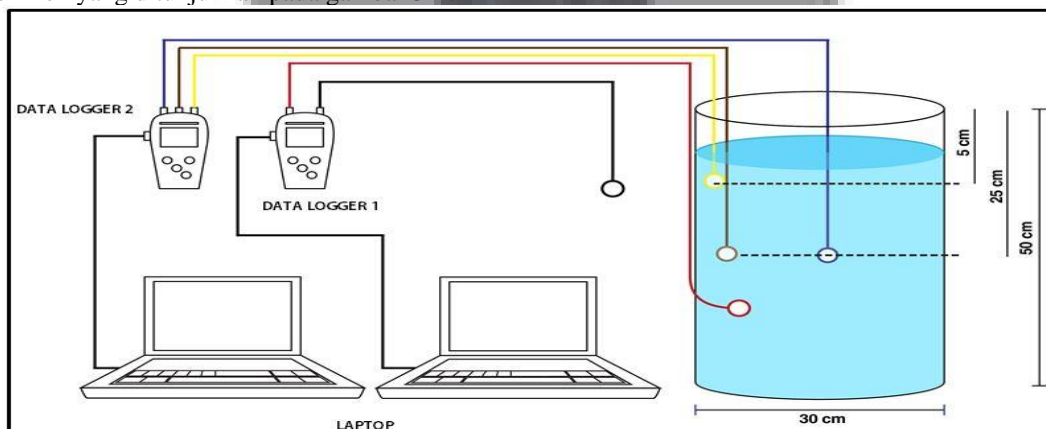
$$Q_{\text{konveksi}} = h \cdot A (T_s - T_{\infty}) \quad [2.2]$$

- h = Koefisien Laju Konveksi (W/m²K)
 A = Luas Permukaan Atap/Selimut (m²)
 T_s = Temperatur *Surface* (K)
 T_{∞} = Temperatur Lingkungan (K)

3. Metodologi Penelitian

Simulasi perhitungan secara numerik diawali dengan meninjau laju perpindahan panas secara konduksi (Q_{konduksi}) dari dalam tangki menuju permukaan luar sistem. Dalam perhitungan ini diasumsikan temperatur permukaan (T_s) pada kondisi awal sama dengan temperatur air (T_{air}) dalam tangki, kemudian dilakukan perhitungan berulang sampai diasumsikan kondisi T_s sama dengan temperatur lingkungan (T_{∞}). Asumsi yang sama juga dilakukan untuk menghitung laju perpindahan panas secara konveksi (Q_{konveksi}), dengan melakukan partisi-partisi perhitungan dengan meninjau parameter-parameter yang mempengaruhi nilai koefisien konveksi pada tiap kenaikan temperatur.

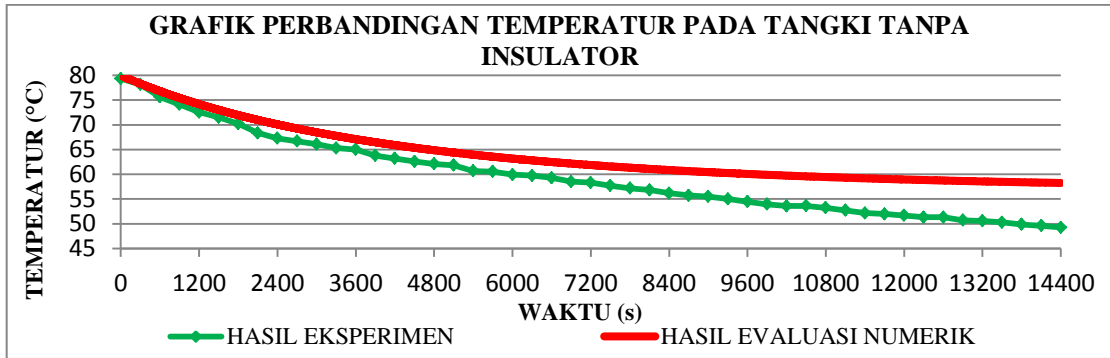
Pada proses selanjutnya perlu dilakukan interpolasi dengan asumsi bahwa besar nilai Q_{konduksi} sama dengan Q_{konveksi} untuk mengetahui T_s dan laju perpindahan panas total (Q_{total}) pada kondisi *steady state* yang dilakukan secara berulang dengan mengganti asumsi nilai T_{air} sampai mendekati T_{∞} untuk mendapatkan fungsi dan grafik penurunan Q_{total} terhadap T_{air} . Fungsi $Q_{\text{total}}(T_{\text{air}})$ digunakan untuk melakukan partisi perhitungan sesuai prinsip kekekalan energi yang diturunkan tiap satuan waktu untuk memperoleh grafik penurunan temperatur air $T_{\text{air}}(t)$ selama 4 jam setelah temperatur air dianggap konstan pada temperatur awal 80°C. Perhitungan secara numerik dibantu menggunakan *software* Microsoft Excel. Evaluasi perhitungan secara numerik tersebut akan dibandingkan dengan hasil eksperimen penurunan temperatur air dengan skema eksperimen yang ditunjukkan pada gambar 3-1.



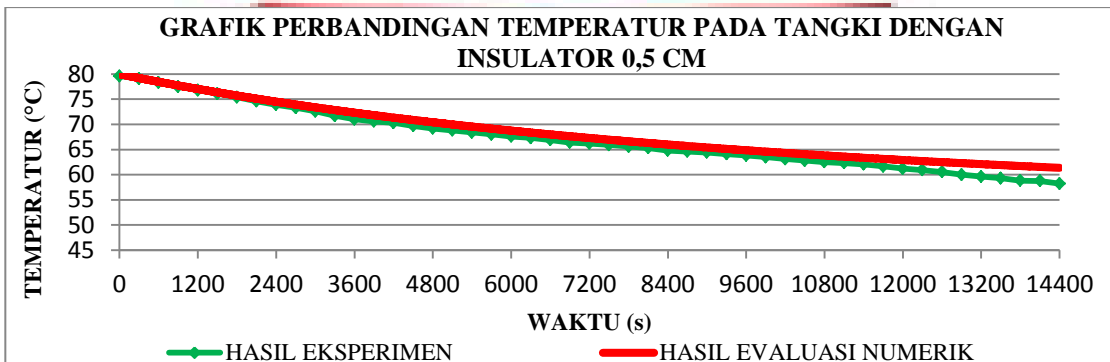
Gambar 3-1 Skema Pengambilan Data

4. Hasil dan Analisis

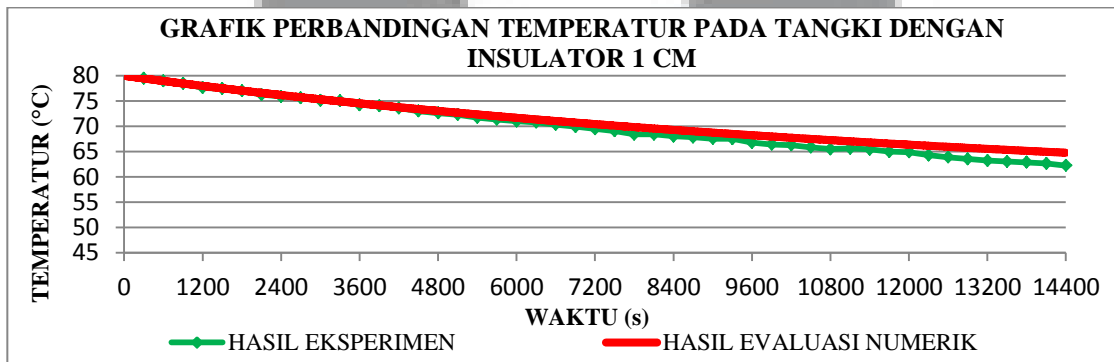
Hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan hasil eksperimen dan data hasil evaluasi secara numerik yang mengacu pada persamaan analitik dan persamaan empiris yang berlaku pada sistem dengan beberapa variasi kondisi pengujian yang ditunjukkan oleh gambar 4-1 sampai dengan gambar 4-5.



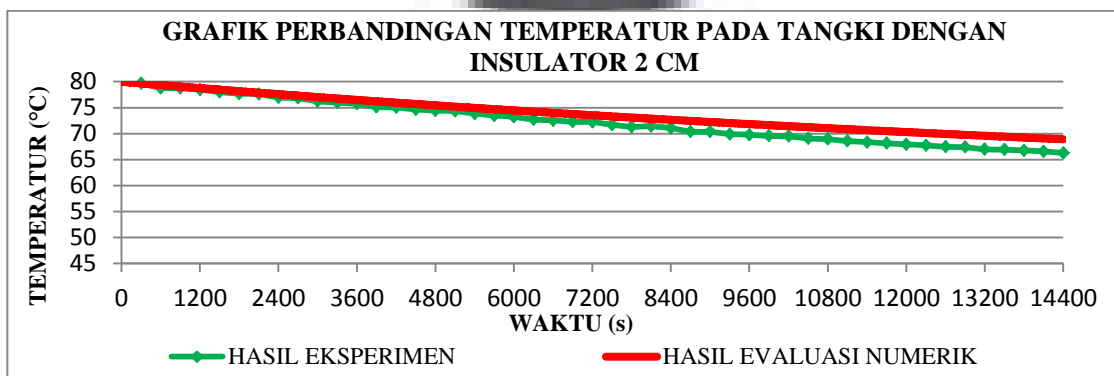
Gambar Error! No text of specified style in document.-1 Perbandingan Temperatur pada Tangki Tanpa Insulator



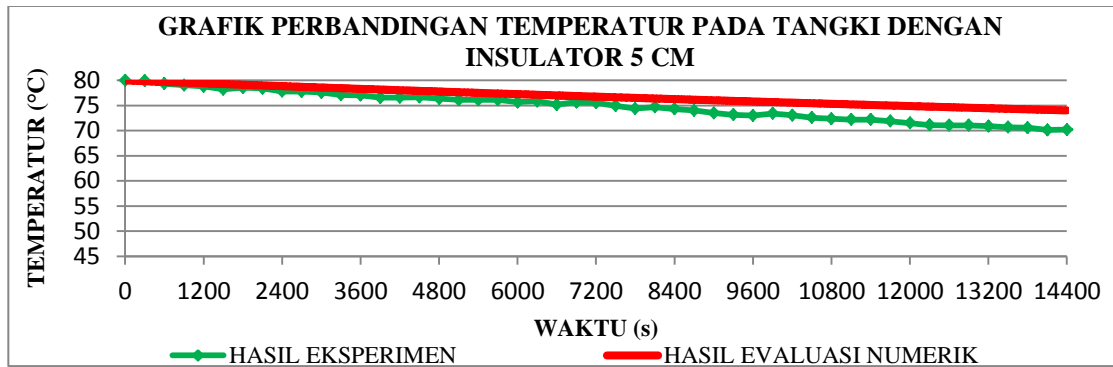
Gambar Error! No text of specified style in document.-2 Perbandingan Temperatur pada Tangki dengan Insulator 0,5 cm



Gambar Error! No text of specified style in document.-3 Perbandingan Temperatur pada Tangki dengan Insulator 1 cm



Gambar Error! No text of specified style in document.-4 Perbandingan Temperatur pada Tangki dengan Insulator 2 cm



Gambar Error! No text of specified style in document.-5 Perbandingan Temperatur pada Tangki dengan Insulator 5 cm

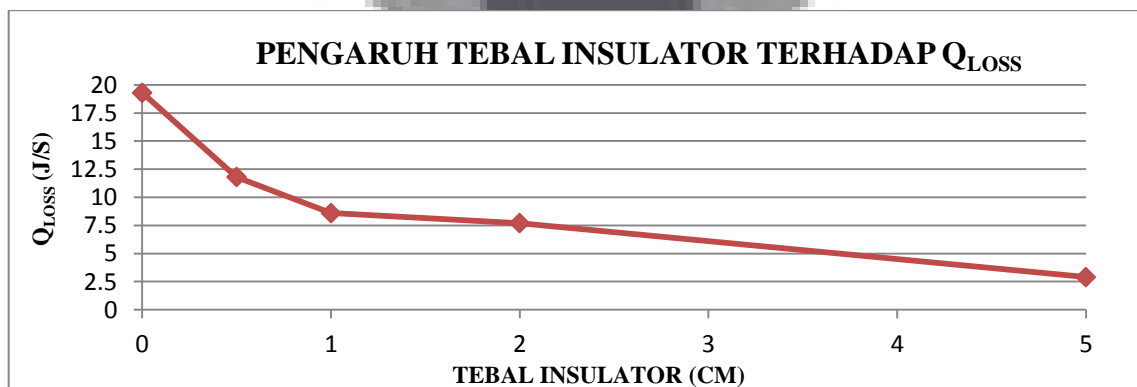
Perbandingan data hasil eksperimen dengan hasil evaluasi secara numerik diperoleh kecenderungan penurunan nilai temperatur pada data hasil eksperimen selalu berada dibawah data hasil evaluasi numerik, dengan rata-rata persentase *error* seperti yang ditampilkan pada tabel 4-1.

Tabel Error! No text of specified style in document.-1 Persentase Error

Tebal Insulator (cm)	Persentase Error
Tanpa Insulator	8 %
0,5	1,9 %
1	1,5 %
2	2,1 %
5	2,7 %

Error yang terjadi antara hasil eksperimen dan hasil evaluasi numerik diakibatkan karena adanya pembatasan parameter yang digunakan dalam evaluasi numerik, yaitu proses perpindahan panas pada alas tabung. Hal tersebut yang menyebabkan temperatur akhir hasil evaluasi numerik selalu lebih tinggi dari temperatur akhir hasil eksperimen. Pada tabel ditunjukkan bahwa *error* terbesar terjadi pada kondisi sistem tanpa insulator dan turun signifikan sampai kondisi sistem dengan insulator 1 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin baik kemampuan insulator menahan panas, maka nilai *error* akan semakin kecil. Pada kondisi sistem dengan insulator 2 cm dan 5 cm terjadi kenaikan masing-masing sebesar 0,6 % karena proses perpindahan panas pada alas tabung tidak menjadi salah satu parameter evaluasi.

Berdasarkan penelitian ini juga dapat diketahui bahwa pengaruh ketebalan insulator terhadap *heatloss* menurun secara eksponensial. Hal tersebut menunjukkan bahwa insulator termal berfungsi sebagai penahan laju panas pada sebuah sistem, dimana semakin tebal insulator yang digunakan maka akan semakin baik kemampuan insulator menahan panas, seperti pada gambar 4.8.



Gambar Error! No text of specified style in document.-6 Pengaruh Ketebalan Insulator terhadap Heatloss

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil evaluasi secara numerik terhadap sistem mendekati hasil eksperimen karena merupakan gabungan antara persamaan analitis pada proses perpindahan panas secara konduksi dan persamaan empiris pada proses perpindahan panas secara konveksi. Hal tersebut yang menyebabkan adanya selisih pada nilai akhir atau *error* antara hasil eksperimen dan hasil evaluasi numerik karena tidak seluruh parameter eksperimen masuk dalam proses evaluasi secara numerik.
2. Berdasarkan nilai penurunan temperatur yang diperoleh antara hasil evaluasi secara numerik dan hasil eksperimen, terdapat rata-rata nilai *error heatloss* sebesar 3,24 %. Hal ini disebabkan karena proses perpindahan panas pada alas tabung tidak masuk menjadi salah satu parameter evaluasi.
3. Setelah dilakukan evaluasi numerik pada sistem dengan beberapa kondisi ketebalan insulator termal dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ketebalan insulator yang digunakan, maka laju kalor yang terjadi pada sistem akan semakin besar dengan sifat eksponensial. Dengan kata lain, semakin baik kemampuan insulator menahan panas maka laju kalor yang terjadi pada sistem akan semakin kecil. Laju kalor paling tinggi sebesar 19,3 J/s adalah pada saat kondisi sistem tanpa insulator dan laju kalor paling rendah sebesar 2,9 J/s terdapat pada kondisi sistem dengan insulator 5 cm.

Daftar Pustaka :

- [1] L.A.Chidambaram, A.S. Ramana, G. Kamaraj, R.Velraj. 2011. *Review of Solar Cooling Methods and Thermal Storage Options, Renewable and Sustainable Energy*. Reviews 15,3220 – 3228.
- [2] Anggraini Handoyo, Ekadewi. 2000. *Thermal Insulation Thickness Effect on Effectiveness of Plate Heat Exchangers*. Journal of Mechanical Engineering Vol.2, NO.2. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Petra Christian University.
- [3] Mandela, Pure. 2011. *Assessing Experimental Use of Sawdust and Newsprint Paper as Isolator Material on Decreasing Temperature of Biomass Furnace Wall*. Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, University of Sriwijaya.
- [4] Cengel, Yunus A. (2004). *Heat Transfer*, 2nd Edition., McGraw-Hill Inc., New York.