

**ANALISIS DAN SIMULASI PENGARUH JENIS INSULATOR TERMAL PADA
DINDING TANKI AIR PANAS TERHADAP LAJU PENURUNAN SUHU AIR
DALAM TANKI**

***ANALYSIS AND SIMULATION OF THE INFLUENCE OF TYPE THERMAL
INSULATORS ON THE WALLS OF HOT WATER TANKS TOWARD THE RATE OF
DECREASE IN WATER TEMPERATURE INSIDE THE TANK***

Dyan Franco Sinulingga¹, M Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T., M.Eng.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

francodyans@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com², tri.ayodha@gmail.com³

Abstrak

Dalam pemanfaatan energi, salah satu komponen terpenting adalah media penyimpan energi (*energy storage*), karena fungsinya untuk menjaga energi yang sudah didapat untuk tidak hilang, agar dapat dimanfaatkan kemudian. Maka perlu dilakukan perancangan sebuah penyimpan energi yang baik, dalam penelitian ini dirancang sebuah tangki air panas yang dapat menahan suhu panas pada air di dalamnya untuk tetap terjaga tinggi, prinsipnya sederhana yaitu hanya dengan menambahkan isolator panas pada dinding tangki air panas tersebut, karena dengan menambahkan bahan yang buruk dalam menghantar panas diharapkan dapat menahan panas keluar dari dalam tangki ke lingkungan. Pada penelitian ini yang dilakukan adalah simulasi dalam bentuk perhitungan secara analitik dan numerik, dan kemudian membandingkan hasil dari kedua metode tersebut. Untuk simulasi dengan metode analitik dilakukan dalam software Comsol Multiphysics 4.3, sedangkan metode numerik dilakukan perhitungan secara manual menggunakan persamaan-persamaan empiris di dalam software Microsoft excel dan R Gui 3.4.2. Pada awal penelitian dilakukan percobaan isolator yang menggunakan Rockwool Cladding Roll dan Glasswool Quietel dengan variasi ketebalan 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm untuk setiap jenis isolator, dan dilakukan simulasi dengan durasi selama 18 jam dengan anggapan tangki menahan panas keluar dari jam 3 sore hingga 9 pagi. Hasil simulasi sistem untuk kedua metode berupa suhu akhir air setelah 18 jam dengan tetapan suhu awal air adalah 80 °C. Dan hasil akhir suhu air dibandingkan antara simulasi metode analitik dan metode numerik. Sementara untuk selisih nilai akhir simulasi metode numerik dengan simulasi metode analitik adalah < 7 %. Pada tinjauan waktu kerja simulasi 18 jam dan hasil simulasi dibandingkan dalam satuan derajat celsius dan suhu lingkungan *steady state* 23,3 °C.

Kata Kunci: *energy storage*, penyimpan energi, metode analitik, metode numerik, simulasi, isolator, Rockwool Cladding Rool, Glasswool Quietel, comsol Multiphysics, steady state

Abstract

In the utilization of energy, one of the most important components is energy storage, because its function to minimize energy lost from tank, so that later can be used. It is necessary to design a good energy storage, in this study have been designed a hot water tank can withstand the hot temperature in the water in it to stay high, the principle is adding a heat insulator to the hot water tank wall, because adding bad material to the wall tank can expected to keep the heat inside of the tank. In this study, the simulation is done in the form of analytic and numerical calculations, and then compared both results of both methods. The analytical simulation method done by using software Comsol Multiphysics 4.3, while numerical method is done with manual calculation using the empirical equations in Microsoft Excel and R Gui 3.4.2. At the beginning, we did an isolator

experiment using Rockwool Cladding Roll and Glasswool Quietel with variations of thickness of 1 cm, 1.5 cm and 2 cm, and each type of isolator is simulated for 18 hours with the assumption that the tank holds the heat from 3 pm to 9 am. The results of system simulations for both methods is the temperature of the water after 18 hours with the initial water temperature constant at 80 °C. The results of simulation compared between analytical method and numerical method. Error result of analytical method and numerical method is < 7%. In 18-hour simulation work time and simulation results are compared in celcius degree and steady state temperature of 23.3 °C.

Keyword: energy storage, analytical method, numerical method, simulation, isolator, Rockwool Cladding Rool, Glasswool Quietel, comsol Multiphysics, steady state.

1. Pendahuluan

Salah satu contoh bentuk pemanfaatan energi panas yaitu pada penerapan kolektor panas matahari, dengan suhu rata-rata di Indonesia mencapai sekitar 31°C – 32°C kolektor panas sederhana mampu memanaskan air hingga suhu 56°C [1]. Yang menjadi persoalan adalah bagaimana menyiapkan media penampung air panas yang dapat mempertahankan suhu air agar tetap memiliki suhu tinggi. Untuk selanjutnya air panas dapat dimanfaatkan atau energi panas pada air dimanfaatkan untuk hal lain.

Dalam penelitian ini dirancang sebuah tanki sebagai media yang dapat menyimpan dan mempertahankan suhu air tetap tinggi. Untuk mempertahankan agar suhu air tetap tinggi atau agar energi pada air panas tidak lepas ke lingkungan, maka tanki perlu dilapisi bahan insulator termal, karena sifat bahan ini yang dapat menghambat laju aliran kalor yang melewati bahan tersebut, dengan demikian energi yang ada pada air dalam tanki dapat diminimalisir yang ke luar ke lingkungan.

Dengan melihat hasil penelitian sebelumnya mengenai percobaan insulasi pada boiler menggunakan isolator di Pabrik Yarkasih Kudus, diketahui dua bahan isolator yang telah teruji baik sebagai isolator panas dan mudah ditemukan di pasaran adalah Glasswool dan Rockwool, dengan hasil penelitian menunjukkan untuk percobaan tanpa isolator panas yang keluar dari boiler sebanyak 100,04 Watt, ketika menggunakan Rockwool sebagai isolator boiler dengan tebal 0,25 cm panas yang keluar menjadi 39,63 Watt, dan ketika menggunakan Glasswool dengan tebal yang sama jumlah panas terbuang menjadi 38,14 Watt [2]. Perubahan drastis jumlah panas yang terbuang ini diakibatkan adanya penambahan bahan yang memiliki nilai konduktivitas rendah, sehingga panas sulit untuk melewatinya [3].

Pada penelitian ini untuk melihat penurunan suhu pada air dalam tanki dilakukan dengan dua metode yang berbeda. Metode pertama disebut metode numerik, yaitu metode pengerjaan dengan menghitung model perpindahan panas pada sistem tanki air panas terinsulasi menggunakan persamaan empiris yang telah disusun, kemudian dibantu oleh Microsoft excel dan R Gui 3.4.2 dalam melakukan perulangan perhitungannya agar didapat grafik penurunan suhu air dalam tanki pada setiap detiknya. Selanjutnya metode yang akan dilakukan yaitu metode analitik dengan cara kerja FEM (*Finite Element Method*), yang merupakan metode partisi pada sistem model matematika kompleks menjadi bagian-bagian terkecil, dengan masing-masing bagian terkecil tersebut memiliki persamaan matematika yang sederhana. Dengan menganalisa pola interaksi pada setiap bagian-bagian terkecil tersebut akan didapatkan hasil perhitungan atau simulasi akurat. Pada prakteknya, metode analitik ini akan dibantu dengan menggunakan Software Comsol Multiphysics, dengan cara melakukan pemodelan bentuk sistem dan kondisi pada tanki dan lingkungan dengan memasukan setiap parameter yang dibutuhkan pada tampilan GUI Comsol Multiphysics. Kemudian akan didapatkan hasil keluaran Comsol Multiphysics yaitu penurunan temperatur fluida dalam tanki yang akan dibandingkan dengan data yang didapat melalui metode numerik, agar didapatkan kesimpulan melalui hasil perbandingan antara kedua metode.

2. Dasar Teori

2.1 Definisi Perpindahan Panas

Ketika panas atau kalor bergerak maka akan terjadi pertukaran panas dan akan berhenti ketika kedua media yang berinteraksi telah memiliki temperatur yang sama [4]

2.2 Mekanisme Perpindahan Panas

Secara sederhana laju perpindahan panas diturunkan dengan waktu memenuhi persamaan berikut.

$$\frac{q}{t} = M(\text{tot}) + C(\text{tot}) + \frac{\Delta T}{at} \quad (1)$$

dengan:

q = Laju perpindahan kalor (W)

M_(tot) = Massa total bahan yang dilewati oleh kalor (Kg)

$C_{(tot)}$ = Kapasitas panas total bahan yang dilewati oleh kalor (J/Kg.K)
 ΔT = Perbedaan suhu titik awal dan akhir yang dilewati kalor (K)

2.2.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi

Konduksi termal pada logam-logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul [5]. Untuk proses perpindahan panas secara konduksi dapat dilihat dari gambar 2.1 berikut:

$$\frac{q}{A} = \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

dengan:

q = Laju perpindahan kalor (Watt)

A = Luas Permukaan Bahan (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = Gradient temperatur terhadap jarak ($^{\circ}C/m$)

Dan dengan kostanta kesetimbangan (konduksi), maka menjadi persamaan fourier.

$$q = - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k \cdot \Delta T}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (3)$$

Dengan:

q = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

k = Konduktivitas bahan ($W/m \cdot ^{\circ}C$)

L = Tinggi tanki (m)

ΔT = Perubahan temperatur ($^{\circ}C$)

r_o = Jarak dari titik pusat tanki hingga lapisan luar bahan (m)

r_i = Jarak dari titik pusat tanki hingga lapisan dalam bahan (m)

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Termodinamika yaitu “kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur” [5].

2.2.2 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke fluida baik cair maupun gas. Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan (4):

$$q = h \cdot A \cdot (T_w - T_{\infty}) \quad (4)$$

Dengan:

q = Laju perpindahan kalor konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)

A = Luas perpindahan kalor (m^2)

T_w = Temperatur permukaan dinding tanki ($^{\circ}C$)

T_{∞} = Temperatur udara di lingkungan tanki ($^{\circ}C$)

2.2.2.1 Konveksi Alami pada Permukaan Silinder

Konveksi alami terjadi pada sistem yang dalam keadaan diam dan pada lingkungan yang terbuka tanpa dipengaruhi oleh sesuatu yang dikondisikan, berikut dituliskan parameter-parameter alami yang mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas konveksi (h) sehingga mempengaruhi nilai laju perpindahan panas secara konveksi (Q_{Conv}):

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr_L \quad (5)$$

$$Gr_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} \quad (6)$$

dengan:

Ra_L = Rayleigh Number

Gr_L = Grashof Number

Pr_L = Prandtl Number

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

β = Koefisien ekspansi volume ($1/K$)

$T_s =$	Temperatur Permukaan (K)
$T_\infty =$	Temperatur dari fluida lingkungan (K)
$L =$	Panjang Karakteristik (m)
$\nu =$	Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

Apabila: $Ra_L > 10^9$ aliran adalah turbulen; $Ra_L < 10^9$ aliran adalah laminar [7]. Untuk perpindahan panas konveksi alami pada silinder datar *Nusselt Number* ditentukan untuk semua nilai bilangan *Rayleigh* dengan persamaan:

$$Nu = [0,0825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/4}}{[1+(0,429/Pr)^{1/4}]^{2/7}} \cdot Pr_L]^{1/4} \quad (7)$$

Koefisien perpindahan **Panas Konveksi** (h) ditentukan dengan *Nusselt Number* (Nu):

$$Nu = \frac{h.L}{k} \quad (8)$$

Maka dengan menggunakan persamaan (6) dapat menentukan nilai koefisien perpindahan panas konveksi, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h = \frac{Nu.k}{L} \quad (9)$$

dengan:

Nu	= <i>Nusselt Number</i>
h	= Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$)
k	= Konduktivitas termal fluida ($W/m.K$)
L	= Panjang karakteristik (m)

2.3 Sifat Insulator Termal

Insulator termal atau tahanan termal merupakan suatu bahan yang memiliki sifat menghambat laju aliran panas yang sedang mengalir, karena memiliki nilai konduktivitas rendah.

2.4 Simulasi Menggunakan Comsol Multiphysics

Comsol multiphysics yang sebelumnya bernama FEMLAB adalah perangkat lunak dengan kemampuan analisis elemen hingga, solver dan simulasi untuk berbagai aplikasi fisika dan teknik. COMSOL Multiphysics juga menawarkan antarmuka yang luas untuk MATLAB dan peralatan untuk berbagai macam aplikasi pemrograman, praproses dan pascaproses. Comsol bersifat cross-platform (dapat digunakan di Windows, Mac, Linux, Unix)

3. Metode Penelitian

3.1 Studi Literatur

Dalam studi literatur dilakukan pengumpulan data-data dan parameter yang diperlukan dalam menyusun model diantaranya teori pendukung tentang persamaan perpindahan panas, simulasi dengan COMSOL Multiphysics dan data percobaan perhitungan secara numerik sebagai bahan untuk melakukan validasi model yang didapatkan.

3.2 Penyusunan Model Tanki Air Panas Terinsulasi

Model yang akan digunakan adalah model Tanki berisi air panas dengan ukuran tinggi 50 cm, diameter 30 cm, tebal dinding tanki bahan stainless steel 0,07 cm dan tebal bahan insulator yang menyelimuti dinding tanki divariasikan mulai dari 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Selain itu pada bahan, data properties yang digunakan pada penelitian ini, untuk Rockwool Cladding Rool nilai konduktivitas termal 0.04 $W/(m.K)$, nilai masa jenis 140 Kg/m^3 , dan kapasitas panas 840 $J/(Kg.K)$ [9]. Untuk bahan Glasswool Quietel nilai konduktivitas termal 0.031 $W/(m.K)$, nilai masa jenis 130 Kg/m^3 , dan kapasitas panas 670 $J/(Kg.K)$ [10]. Dan untuk bahan tanki yaitu Stainless Steel memiliki nilai masa jenis 8030 Kg/m^3 [11]. nilai konduktivitas termal 16.2 $W/(m.K)$, dan nilai kapasitas panas 500 $J/(Kg.K)$ [12]. Model disusun dengan cara memasukan air panas kedalam tanki kemudian tanki yang sudah diinsulasi ditutup dengan rapat pada keadaan normal. Kalor dari air akan merambat melewati dinding tanki kemudian melewati bahan insulator untuk ke luar ke lingkungan. Hasil penyusunan model simulasi secara numerik dan analitik pada tanki air panas akan dijelaskan di bab IV.

3.3 Penghitungan Pada Model Secara Numerik

Diawali dengan meninjau laju aliran kalor secara konduksi dari dalam tanki hingga permukaan luar bahan insulator, dalam perhitungan ini dilakukan asumsi mula-mula suhu permukaan insulator sama dengan suhu air dalam tanki, kemudian dilakukan perhitungan berulang-ulang selanjutnya ketika suhu permukaan insulator di

bawah suhu air dalam tanki dan seterusnya hingga asumsi perhitungan saat suhu permukaan insulator sama dengan suhu lingkungan. Dengan begitu akan didapat grafik laju kalor secara konduksi dan juga penurunan suhu permukaan bahan insulator yang menggambarkan penurunan suhu fluida dalam tanki.

Selanjutnya dilakukan metode perhitungan dengan metode konveksi, sama halnya dengan metode konduksi yaitu melakukan partisi-partisi perhitungan namun kali ini dengan meninjau kenaikan suhu permukaan insulator dari yang semula sama dengan suhu lingkungan hingga diasumsikan suhu permukaan insulator sama dengan suhu air dalam tanki, maka akan didapat grafik laju kalor secara konveksi atau grafik kenaikan suhu permukaan insulator, selanjutnya dengan melihat titik perpotongan grafik atau melihat saat nilai laju kalor secara konduksi sama dengan nilai laju kalor secara konveksi maka akan didapatkan suhu permukaan insulator saat kondisi awal sehingga dapat diketahui pada saat itu juga berapa suhu air didalam tanki.

Tahap terakhir yaitu melakukan perulangan atau partisi perhitungan dengan menggunakan data yang didapat berupa massa air, nilai kalor jenis air, suhu steady state air dan juga laju kalor saat steady state menggunakan. Untuk memudahkan dalam semua perhitungan secara numerik tersebut, maka akan dibantu menggunakan software Microsoft Excel dan R Gui 3.4.2, untuk mendapatkan penurunan suhu air setiap detiknya. Perhitungan secara numerik yang dirancang pada model tanki air panas terinsulasi akan dijelaskan di Bab IV.

3.4 Aplikasi Model pada COMSOL Multiphysics

Mengaplikasikan model neraca massa dan neraca energi yang didapat pada program COMSOL untuk menyelesaikan sistem persamaan perpindahan panas yang dirumuskan dengan menyesuaikan persamaan model dengan persamaan yang terdapat dalam program COMSOL dengan memasukkan semua parameter model (konstanta, parameter skalar dan kondisi batas) ke dalam persamaan-persamaan yang telah ditentukan.

3.5 Verifikasi Program

Verifikasi program dilakukan untuk mengetahui adanya kesalahan pada aplikasi model ke dalam program COMSOL. Jika ada pesan kesalahan baik dari input konstanta, kondisi batas ataupun penulisan script program berarti program belum valid. Jika verifikasi program belum berhasil maka dilakukan koreksi terhadap parameter-parameter model yang diaplikasikan pada program (persamaan skalar, konstanta, kondisi batas) ataupun penulisan script program hingga model yang diaplikasikan dapat berjalan yang bisa diketahui dengan tidak munculnya pesan kesalahan ketika model yang telah diaplikasikan ke dalam program COMSOL dijalankan, sehingga dapat digunakan untuk langkah selanjutnya.

3.6 Validasi Model

Validasi Model dilakukan dengan membandingkan data-data yang didapat dari hasil simulasi analitik dengan numerik Untuk mengetahui sejauh mana error atau kelayakan dari model. Jika nilai error hasil simulasi < 7% antara simulasi analitik dan numerik maka simulasi model dinyatakan valid dan kemudian dilakukan analisis hasil simulasi tanki air panas terinsulasi.

3.7 Hasil Simulasi

Hasil Simulasi didapatkan dengan bantuan program COMSOL Multiphysics. Simulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan jenis bahan insulator pada dinding tanki terhadap penurunan suhu air panas dalam tanki. Adapun variabel bebas yang termasuk dalam simulasi ini adalah:

- Profil fluida dalam tanki
- Parameter termal bahan
- Keadaan lingkungan tanki

Variabel terikat yang akan dilihat perilakunya dalam simulasi ini adalah:

- Profil Temperatur

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pengujian Dengan Metode Analitik

Pengujian dengan metode analitik menggunakan software COMSOL Multiphysics sebagai alat bantu untuk melakukan proses simulasi atau hitung dengan cara FEM.

4.1.1 Skenario Pengujian

Pengujian dilakukan pada COMSOL dengan menyesuaikan kondisi-kondisi normal yang sudah didapat melalui sumber-sumber literatur, dengan sebelumnya membuat desain tanki seperti dijelaskan pada Bab 3 mengenai penyusunan model tanki air panas.

4.2 Perbandingan Hasil Pengujian Metode Analitik dan Metode Numerik

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan membandingkan hasil nilai akhir temperatur air dalam tangki terinsulasi selama 18 jam atau 64.800 detik, yaitu antara perhitungan metode analitik dengan perhitungan metode numerik

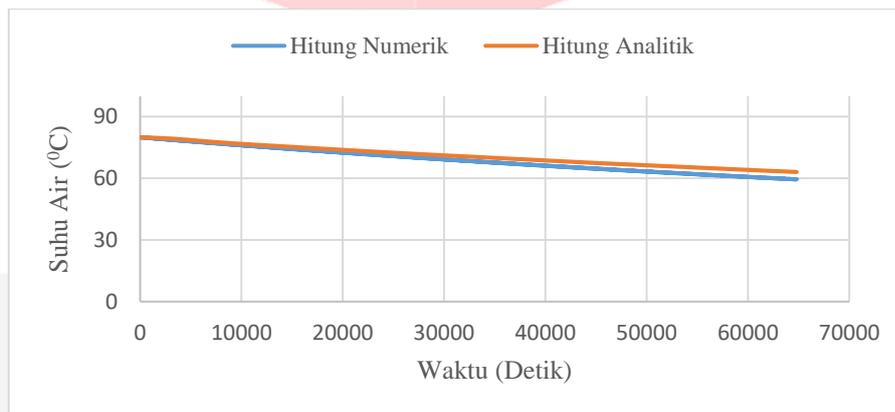
4.2.1 Skenario Pengujian

Melakukan perhitungan menggunakan persamaan (1) hingga persamaan (8) dengan menyesuaikan kondisi parameter termal sesuai dengan karakteristik setiap material dan juga kondisi lingkungan yaitu bertemperatur 23,3°C maka akan didapat persamaan laju kalor terbuang terhadap suhu air dalam tangki untuk setiap jenis isolator dan juga ukuran ketebalan bahan isolator.

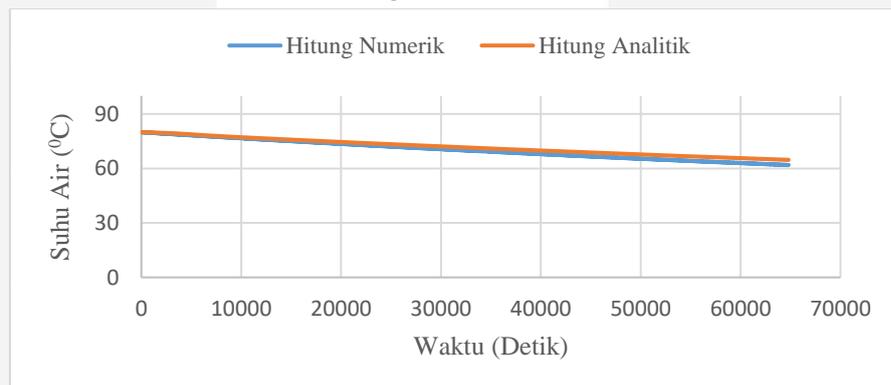
Selanjutnya dengan menggunakan persamaan laju kalor, persamaan (1), dengan nilai Q diisi persamaan yang telah didapat dengan cara sebelumnya yaitu hubungan kalor terbuang dengan suhu air dalam tangki, dan nilai M dan C adalah total massa dan kapasitas panas bahan yang ada pada sistem, dan nilai $\frac{\Delta T}{dt}$ adalah nilai perubahan atau selisih suhu air pada waktu yang sekarang dan waktu kemudian untuk satuan waktu detik, dengan melakukannya berulang-ulang secara numerik maka akan didapat penurunan suhu air dalam tangki tiap detik.

4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisis

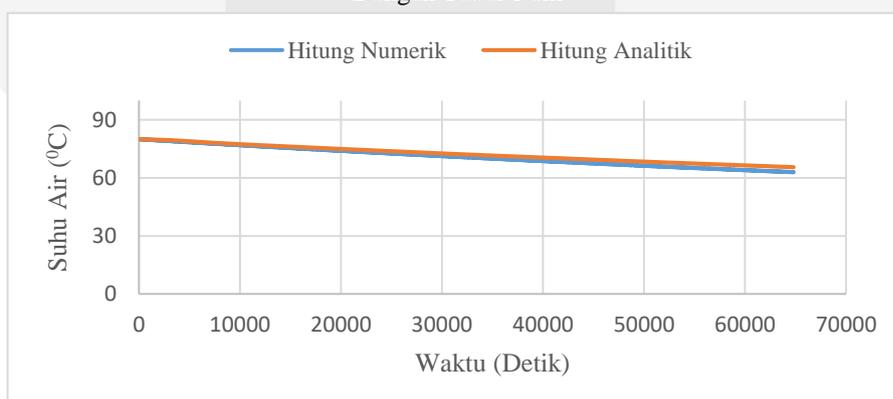
Data yang diperoleh merupakan data perbandingan hasil simulasi metode analitik dengan hasil simulasi metode numerik. Rangkuman pengujian perbandingannya ditunjukkan oleh Gambar 4.1 sampai dengan 4.6



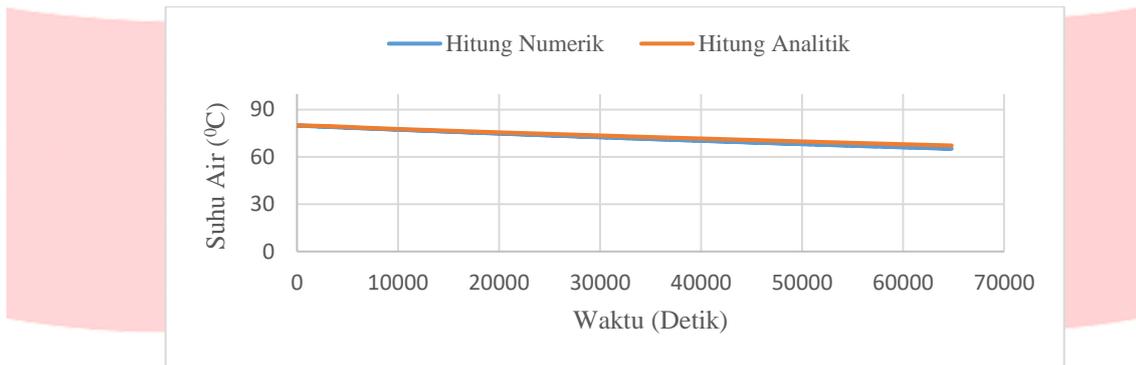
Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Rockwool Dengan Tebal 1 cm



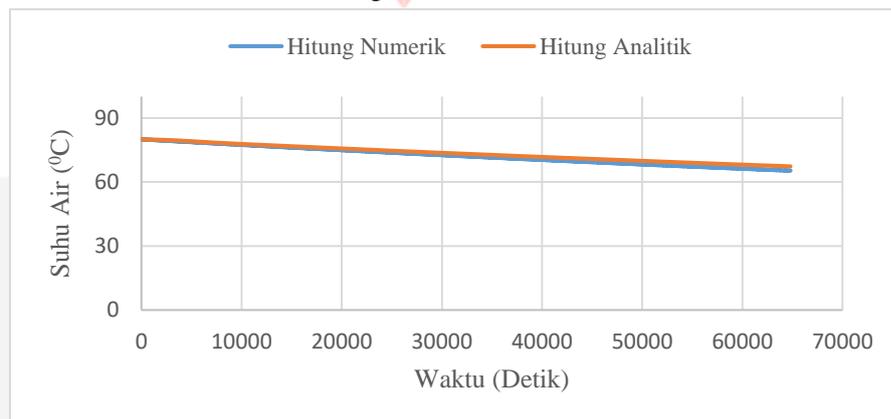
Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Glasswool Dengan Tebal 1 cm



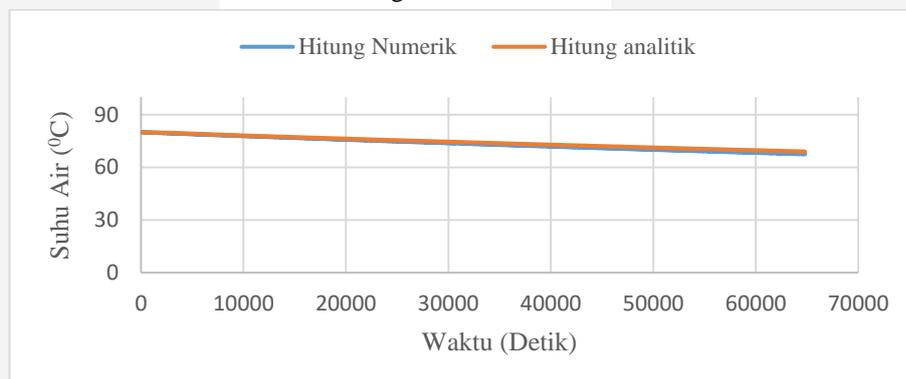
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Rockwool Dengan Tebal 1,5 cm



Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Glasswool Dengan Tebal 1,5 cm



Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Rockwool Dengan Tebal 2 cm



Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Penurunan Suhu Air Dalam Tangki Terinsulasi Glasswool Dengan Tebal 2 cm

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian “Analisis Dan Simulasi Pengaruh Jenis Insulator Termal Pada Dinding Tanki Air Panas Terhadap Laju Penurunan Suhu Air Dalam Tanki”, dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan simulasi secara analitik dan numerik selama 18 jam dengan menyesuaikan semua sifat bahan dan kondisi lingkungan didapatkan bahwa bahan isolator Glasswool Quietel lebih baik menahan panas daripada bahan isolator Rockwool Cladding Rool. Melalui penelitian ini juga didapatkan bahwa nilai akhir suhu, dengan metode numerik atau metode hampiran hasilnya cukup mendekati dengan hasil absolute atau dengan metode analitik, dengan nilai error dibawah 7%.

Melalui percobaan simulasi menunjukkan semakin kecil ketebalan bahan isolator akan menyebabkan nilai error antara kedua metode semakin besar, ini juga berarti semakin buruk kemampuan jenis isolator menahan panas,

maka nilai error juga semakin besar. Dengan demikian dari hasil percobaan simulasi yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai laju kalor yang melewati suatu bahan bergantung pada ketebalan dan jenis bahan tersebut, pada percobaan didapat bahwa semakin besar nilai ketebalan bahan maka semakin kecil nilai laju kalor yang melewatinya, dan untuk jenis bahan dari hasil percobaan didapat bahwa nilai laju kalor yang melewati bahan glasswool lebih kecil daripada melewati bahan rockwool.

Daftar Pustaka

- [1] J. F. Frengky, Pembuatan Alat Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana Untuk Mengetahui Laju Konveksi, Universitas Pasir Pengaraian, 2016.
- [2] F. S. Jamil, Qomaruddin and H. Setiawan, *Analisa Isolator Pipa Boiler untuk Meminimalisir Heat Loss Saluran Permukaan Pipa Uap Pada Boiler Pabrik Kerupuk Yarkasih*, vol. III, pp. 121-126, 2016.
- [3] Rusdiyantoro and Muntolib, "Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meminimalisasi Heat Loss," *Jurnal Teknik Waktu*, vol. 12, p. 02, 2014.
- [4] R. A. Koestoer, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Salemba Teknika, 2002.
- [5] W.L and M. Cabe, *Operasi Teknik Kimia Jilid I Edisi 4*, Jakarta: Erlangga, 1999.
- [6] J. Holman, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Erlangga, 2002.
- [7] F. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat Transfer*, 4rd ed, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [8] S. C. Brnner and L. R. Scott, *The Mathematical Theory of Finite Elemet Methods*, New York: Springer-Verlag, 1994.
- [9] "Rockwool," Sustainable Insulation Productions, June 2016. [Online]. Available: <http://www.rockwool.co.uk/products/rockwool-cladding-roll/>. [Accessed 3 January 2017].
- [10] CSR Bradford Insulation, "Bradford Insulation," 2017. [Online]. Available: <http://www.bradfordinsulation.co.nz/>. [Accessed 3 January 2018].
- [11] "AmBrSoft Quality Softwares," Math Conversion, 23 October 2014. [Online]. Available: http://www.ambrsoft.com/CalcPhysics/Density/Table_2.htm. [Accessed 3 January 2018].
- [12] "aksteel," 2007. [Online]. Available: http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/austenitic/304_304l_data_sheet.pdf. [Accessed 3 January 2018].