

SISTEM DINAMIK MODEL PERUBAHAN SUHU DI MEDIA TERISOLASI PADA TERMOS AIR PANAS

Agung Widi Sadhana Putra, Gusrian Putra, Dear Michiko Mutiara Noor*
Matematika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia

*Penulis korespondensi: dear.noor@itera.ac.id

ABSTRAK

Proses pemanasan air terjadi melalui peristiwa perpindahan kalor. Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, air panas memiliki banyak kegunaan sehingga timbul kebutuhan untuk mempertahankan suhu air panas dengan menggunakan termos. Termos merupakan sistem terisolasi yang membatasi air di dalam termos dengan lingkungan luar, sehingga diharapkan suhu dari air panas dapat terjaga dalam waktu yang lebih lama. Suhu air panas yang berada di lingkungan terbuka atau di dalam termos yang terbuka tutupnya akan turun menuju suhu lingkungan seiring berjalannya waktu. Penelitian ini mengkaji dinamika sistem model matematika pada suhu air sesaat setelah air panas dituangkan dengan memperhatikan pengaruh suhu pada dinding termos. Konstanta perpindahan kalor, K , divariasikan dalam model untuk dikaji pengaruhnya terhadap dinamika kecepatan penurunan suhu air panas dalam termos. Didapatkan hasil kajian sistem dinamik bahwa ketika nilai dari K semakin kecil maka suhu air panas akan stabil menuju titik ekuilibrium lebih lambat, artinya penurunan suhu terjadi lebih lama. Oleh karena itu, material dinding termos akan semakin baik dalam menjaga suhu air panas jika menghasilkan parameter K yang semakin kecil, bahkan mendekati nol.

Kata kunci: Perpindahan Panas, Sistem Dinamik, Sistem Terisolasi, Termos

1 PENDAHULUAN

Fenomena perpindahan panas atau kalor secara natural terjadi ketika terdapat perbedaan temperatur antar medium, baik melalui perantara kontak fisik (konduksi), aliran molekul (konveksi), maupun tanpa zat perantara (radiasi) (Hakim, 2023). Untuk meminimalisir terjadinya perpindahan panas pada suatu zat (umumnya air atau zat cair lainnya), diperlukan suatu wadah yang memiliki kemampuan isolator yang baik. Sistem isolasi pada termos menerapkan prinsip pemberian ruang hampa udara antara lapisan dalam yang mewadahi air panas (maupun dingin) dengan lapisan luar yang bersentuhan langsung dengan lingkungan yang bersuhu lebih rendah (atau tinggi) sehingga transfer kalor secara konduksi maupun konveksi sangat diminimalisir. Selain itu, material aluminium yang digunakan juga mampu menekan proses perpindahan panas secara radiasi. Kehadiran termos ataupun kontainer lain dengan prinsip isolator ruang hampa udara ini bermanfaat bagi kebutuhan sehari-hari, bahkan untuk kebutuhan industri, misalnya untuk menyimpan nitrogen cair yang dibutuhkan di ranah agroindustri. Kendati demikian, kemampuan termos dalam mempertahankan suhu cairan di dalamnya tidaklah sempurna. Berbagai studi dan eksperimen dilakukan untuk mendapatkan hasil isolasi termal yang terbaik, baik dari segi bentuk termos, material yang digunakan sebagai lapisan ruang hampa udara, hingga efisiensi bentuk tutup termos untuk meminimalisir kontak langsung dengan lingkungan saat digunakan oleh pengguna (Anyanwu, Gad, Bilal, & Ewim, 2022). Penelitian ini dilakukan dengan basis experimental serta penarikan simpulan secara induktif dengan biaya eksperimen yang tinggi dan dilakukan oleh banyak *expert*.

Pendekatan deduktif dalam hal ini diperlukan sebagai upaya cerdas sebelum memutuskan berinovasi dengan pilihan kombinasi variable tertentu sehingga dapat memaksimalkan fungsi isolator pada termos. Pendekatan deduktif ini tidak lepas dari peran pemodelan matematika terhadap fenomena yang diteliti. Model matematika dengan berbagai metode penyelesaian, baik deterministik maupun stokastik dapat diaplikasikan pada berbagai aspek kehidupan, seperti pada fenomena fisis gelombang, pertumbuhan populasi, kajian terkait penyakit menular, termasuk prinsip termodinamika (Aditama, Noor, & Rizka, 2024) (Edriani, Rahmadani, & Noor, 2021) (Ghozi, Aprianti, Dimas, & Fauzi, 2022). Lebih jauh lagi, terdapat berbagai studi deduktif terkait dengan model matematika untuk perubahan suhu yang terjadi untuk suatu zat cair (Noor, Haniah, & Magdalena, 2022).

Penelitian ini berorientasi pada kajian sistem dinamik untuk pemodelan matematika dalam menjelaskan fenomena penurunan suhu yang terjadi pada air panas yang dituangkan ke dalam suatu termos dengan dinding lapisan dalam yang bersuhu lebih rendah (suhu natural lingkungan). Dinamika sistem pada model matematika ini dapat memperlihatkan perilaku perubahan panas yang terjadi seiring berjalannya waktu, hingga mencapai suatu kondisi equilibrium. Variasi pada nilai konstanta perpindahan kalor (K) juga dilakukan untuk mendeteksi pengaruhnya terhadap kecepatan perubahan suhu yang terjadi.

2 METODE

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menerapkan metode studi literatur dengan melakukan kajian terhadap karya tulis dan penelitian terdahulu, baik dalam bentuk buku, jurnal, atau sumber lainnya yang berhubungan dengan topik penelitian.

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni di Program Studi Matematika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera.

2.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi Permasalahan

Melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang akan diteliti, yaitu mengenai perubahan suhu di media terisolasi pada termos air panas.

2. Studi Literatur

Menelusuri, membaca, serta memahami berbagai referensi yang digunakan untuk menunjang penelitian yang dilakukan.

3. Mengkaji Model Matematika yang Akan Digunakan

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berasal dari persamaan kalor dan mekanisme perpindahan panas yang dapat terjadi pada sistem terisolasi di media termos air panas. Kalor merupakan energi yang dapat berpindah atau ditransfer dari suatu benda ke benda lainnya (Lusiani, 2020). Perubahan kalor yang terjadi dapat dinyatakan dalam suatu bentuk model persamaan matematika yaitu

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dengan ΔQ , m , c , dan ΔT masing-masing adalah perubahan kalor (J), massa benda (kg), kalor jenis benda ($J/kg\ ^\circ C$), dan perubahan suhu ($^\circ C$).

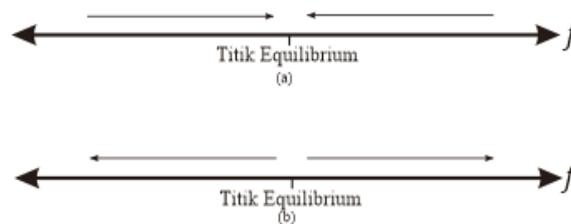
Terdapat tiga mekanisme untuk terjadinya fenomena perpindahan panas, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi merupakan fenomena perpindahan panas yang terjadi ketika kalor panas mengalir pada melalui suatu media benda padat dari satu bagian menuju bagian lainnya, konveksi merupakan mekanisme perpindahan panas yang terjadi dikarenakan adanya perpindahan zat, dan radiasi merupakan salah satu mekanisme perpindahan panas yang dapat terjadi antar media tanpa adanya perantara (Lusiani, 2020).

4. Analisis Perubahan Suhu di Media Terisolasi dari Model Matematika yang Digunakan

Untuk dapat mengetahui fenomena perubahan suhu pada termos, diperlukan analisis mulai dari struktur pada termos hingga penyebabnya. Bahan dan bentuk dimensi dari termos akan mempengaruhi laju perubahan suhu yang terjadi nantinya. Ketika telah mendapatkan model matematika dari laju perubahan suhu air panas dalam termos, dapat dilakukan analisis titik ekuilibriumnya dan kestabilannya. Suatu titik $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_n)^t$ disebut Titik Ekuilibrium dari suatu sistem dinamik ketika

$$f_i(\mathbf{a}) = 0 \Leftrightarrow \frac{d}{dt} x_i = 0 \quad \text{saat } x_i = a_i \quad , i = 1, 2, \dots, n$$

Suatu sistem dengan nilai titik ekuilibrium memiliki beberapa jenis kestabilan, yaitu stabil, tidak stabil. Suatu sistem dikatakan stabil ketika orbit lintasan mulai mendekati titik ekuilibrium, dikatakan tidak stabil ketika orbit lintasan menjauhi titik ekuilibrium (Watts, 2018).



Gambar 1. Ilustrasi kemungkinan orbit terhadap titik ekuilibrium.
 (a) Keadaan stabil, (b) Keadaan tidak stabil.

5. Melakukan plot potret fase dan variasi nilai parameter

Dengan melakukan plot, penulis dapat melihat perubahan suhu yang terjadi, dan bagaimana akibatnya apabila melakukan variasi parameter, untuk melihat apakah laju perubahan suhu akan menjadi lebih lambat atau sebaliknya. Plot pada penelitian ini menggunakan metode potret fase. Potret fase merupakan gambaran orbit dari solusi suatu persamaan untuk berbagai nilai awal. Dengan adanya potret fase, suatu persamaan akan semakin mudah untuk melihat laju perubahannya di berbagai titik awal yang berbeda sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan dari suatu persamaan tersebut terkait kestabilannya. Ketika alur dari potret fase mendekati nilai dari titik kesetimbangan, maka sistem tersebut akan dinyatakan stabil terhadap titik kesetimbangan. Tetapi, ketika alur dari potret fase menjauhi nilai titik kesetimbangan, maka sistem tersebut dinyatakan tidak stabil terhadap titik kesetimbangan (Hirsch, Smale, & Devaney, 2013).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter yang Digunakan dalam Penelitian

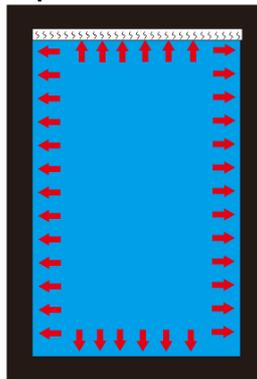
Dalam penelitian ini, diasumsikan menggunakan suatu termos berbahan dasar aluminium dengan karakteristik sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter dalam penelitian

Parameter	Definisi	Nilai	Satuan
r	Jari-jari	0,07	m
H	Tinggi	0,4	m
L	Tebal dinding tabung	0,005	m
m_{air}	Massa air	2	kg
m_{tabung}	Massa tabung	1,7	kg
c_{air}	Kalor jenis air	4.200	$J/kg^{\circ}C$
h	Koefisien perpindahan kalor konveksi	18.750	$W/m^2^{\circ}C$
k	Konduktivitas termal	-0,871	$W/m^{\circ}C$
A	Luas permukaan termos	0,176	m^2
c_{tabung}	Kalor jenis tabung	910	$J/kg^{\circ}C$
T_{air}	Suhu awal air	80	$^{\circ}C$
T_{tabung}	Suhu awal tabung	27	$^{\circ}C$

3.2 Suhu Campuran Air Panas dengan Dinding Termos

Termos air panas merupakan salah satu penerapan sistem terisolasi pada kehidupan sehari-hari. Sesaat ketika air panas dimasukkan ke dalam termos kemudian ditutup, air akan mengalami perubahan suhu yang diakibatkan oleh perbedaan suhu air panas dengan dinding termos.



Gambar 2. Ilustrasi air panas dalam termos

Berdasarkan ilustrasi pada **Gambar 2**, sesaat ketika air panas dimasukkan ke dalam termos lalu ditutup dengan rapat, maka suhu dari air panas akan menyebar ke seluruh permukaan dinding termos. Karena adanya perbedaan suhu awal antara air panas dan dinding termos, maka akan mengakibatkan perubahan suhu pada air sampai memperoleh suhu campuran antara air panas dan dinding termos.

Perubahan suhu tersebut dapat terjadi karena adanya mekanisme perpindahan panas antara air dan dinding termos secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi ketika dinding termos yang memiliki suhu lebih rendah daripada air, menyerap kalor dari air dan mengakibatkan perubahan suhu pada dinding termos. Sedangkan, perpindahan panas secara konveksi terjadi ketika air yang berkontak langsung dengan dinding termos akan mengalami penurunan suhu karena terserap oleh dinding termos, kemudian air yang berada di tengah tabung dan memiliki suhu lebih tinggi akan menggantikan posisi air yang telah mengalami penurunan suhu dan terus berulang hingga mencapai titik suhu campurannya.

Suhu campuran (T_c) merupakan suhu yang dihasilkan dari pencampuran 2 jenis benda yang memiliki suhu yang berbeda. Suhu campuran ini dapat didapatkan melalui perhitungan “Asas

Black”, yang mana dijelaskan bahwa ketika dua buah benda yang memiliki suhu berbeda dicampurkan, maka benda yang panas akan memberikan kalornya kepada benda yang dingin sehingga suhu diakhirnya menjadi sama. Persamaan dari Asas Black adalah sebagai berikut,

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (T_1 - T_c) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_c - T_2)$$

dengan m_1 merupakan massa benda bersuhu tinggi, m_2 merupakan massa benda bersuhu rendah, c_1 merupakan kalor jenis benda bersuhu tinggi, c_2 merupakan kalor jenis benda bersuhu rendah, T_1 merupakan suhu benda bersuhu tinggi, T_2 merupakan suhu benda bersuhu rendah, dan T_c merupakan suhu akhir campuran kedua benda.

Berdasarkan asas tersebut, maka suhu campuran antara air dengan dinding termos adalah sebagai berikut,

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

$$2.4200 \cdot (T_c - 80) = 1,7 \cdot 910 \cdot (27 - T_c)$$

$$T_c = 71,76^\circ C$$

3.3 Model Matematika Laju Perubahan Suhu Air Panas dalam Termos

Untuk memperoleh model matematika dari laju perubahan suhu air panas dalam termos, diperlukan model matematika mengenai perubahan kalor serta model matematika mengenai perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Perubahan kalor yang terjadi dapat dinyatakan dalam suatu bentuk model persamaan matematika yaitu,

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

dengan ΔQ , m , c , dan ΔT masing-masing adalah perubahan kalor (J), massa benda (kg), kalor jenis benda ($J/kg^\circ C$), dan perubahan suhu ($^\circ C$).

Untuk memperoleh model matematika untuk laju perubahan kalor, kedua ruas pada persamaan dibagi dengan Δt . Kemudian, ketika $\Delta t \rightarrow 0$, dapat diperoleh model matematika laju perubahan kalor yaitu

$$\dot{Q} = m \cdot c \cdot \dot{T}$$

atau dapat menjadi laju perubahan suhu yaitu

$$\dot{T} = \frac{\dot{Q}}{m \cdot c}$$

Perpindahan panas secara konduksi merupakan fenomena perpindahan panas yang terjadi ketika kalor panas mengalir pada melalui suatu media benda padat dari satu bagian menuju bagian lainnya (Haryanto, 2016). Model matematika untuk laju perpindahan panas secara konduksi dapat diperoleh sebagai berikut

$$\dot{Q}_{konduksi} = \frac{k \cdot A}{L} \cdot (T_l - T(t))$$

atau dapat diubah menjadi

$$\dot{Q}_{konduksi} = -\frac{k \cdot A}{L} \cdot (T(t) - T_l)$$

Perpindahan panas secara konveksi merupakan mekanisme perpindahan panas yang terjadi dikarenakan adanya perpindahan zat (Haryanto, 2016). Model matematika untuk proses perpindahan panas secara konveksi dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\dot{Q}_{konveksi} = h \cdot A \cdot (T_l - T(t))$$

atau dapat diubah menjadi

$$\dot{Q}_{konveksi} = -h \cdot A \cdot (T(t) - T_l)$$

Mekanisme yang terjadi pada perubahan suhu di air panas pada termos air panas terjadi karena mekanisme perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Dikarenakan terjadi dengan dua jenis mekanisme, maka model matematika untuk proses perpindahan panas secara konduksi dan konveksi dapat disubstitusikan ke persamaan laju perubahan suhu sehingga diperoleh

$$\dot{T} = \frac{\left(-\frac{k \cdot A}{L} \cdot (T(t) - T_l)\right) + (-h \cdot A \cdot (T(t) - T_l))}{m \cdot c}$$

sehingga dapat disederhanakan menjadi

$$\dot{T} = -\frac{\left(\frac{k \cdot A}{L}\right) + (h \cdot A)}{m \cdot c} (T(t) - T_l).$$

Misalkan nilai konstanta pada persamaan tersebut dinotasikan menjadi,

$$K = \frac{\left(\frac{k \cdot A}{L}\right) + (h \cdot A)}{m \cdot c}$$

maka dapat diperoleh model matematika untuk laju perubahan suhu adalah

$$\dot{T} = -K(T(t) - T_l).$$

Karena sistem dalam media terisolasi hanya terjadi di dalam sistem terisolasi tanpa adanya akibat dari lingkungan luar, maka suhu lingkungan (T_l) dapat disubstitusikan menjadi nilai suhu campuran antara air panas dengan dinding termos (T_c), sehingga diperoleh model matematika laju perubahan suhu air panas dalam termos menjadi

$$\dot{T} = -K(T(t) - T_c)$$

Ketika seluruh nilai konstanta pada K disubstitusikan, maka akan diperoleh nilainya sebagai berikut

$$K = \frac{\left(\frac{-0,871 \cdot 0,176}{0,005}\right) + (18750 \cdot 0,176)}{(2) \cdot 4200} = 0,389$$

Dengan melakukan substitusi nilai $K = 0,389$ dan $T_c = 71,76$ menuju model matematika laju perubahan air panas dalam termos, maka akan diperoleh

$$\dot{T} = -0,389(T(t) - 71,76)$$

Setelah diperoleh model matematika dari laju perubahan suhu air panas dalam termos, dapat dilakukan analisis kestabilan pada model tersebut. Analisis kestabilan ini dilakukan untuk melihat bentuk kestabilan model matematika terhadap titik ekuilibrium.

3.4 Analisa Kestabilan dan Potret Fase Perubahan Suhu Air Panas dalam Termos

Setelah diperoleh model matematika untuk laju perubahan suhu air panas dalam termos, maka dapat dilakukan analisis kestabilan dari model tersebut. Nilai titik ekuilibrium dari model laju penurunan suhu air panas pada termos adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \dot{T} &= 0 \\ -0,389(T(t) - 71,76) &= 0 \\ T(t) &= 71,76 \end{aligned}$$

Setelah memperoleh nilai dari titik ekuilibrium pada laju perubahan suhu air panas pada termos yang bernilai 71,76 dapat dilakukan analisis kestabilan sistem terhadap titik ekuilibrium tersebut. Analisis kestabilan dari model laju perubahan suhu air panas pada termos adalah sebagai berikut

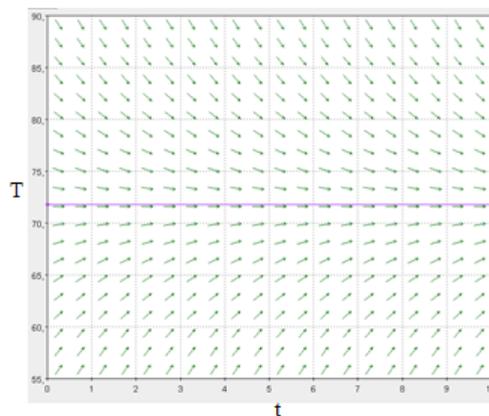
$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= -0,389(T(t) - 71,76) \\ |T(t) - 71,76| &= e^{-0,389t} \cdot e^c \end{aligned}$$

Ketika dimisalkan $e^c = A$, maka diperoleh

$$|T(t) - 71,76| = Ae^{-0,389t}$$

Untuk mengetahui jenis kestabilan pada model laju perubahan suhu air panas pada termos perlu dilihat pada ruas bagian kanan pada persamaan tersebut yang mana bernilai $Ae^{-0,389t}$. Karena nilai dari pangkat e bernilai negatif, maka laju perubahan suhu tersebut akan mendekati titik ekuilibrium seiring dengan bertambahnya waktu (t). Sehingga dapat dinyatakan bahwa model matematika untuk laju perubahan suhu air panas dalam termos ini stabil terhadap titik ekuilibirumnya.

Untuk lebih mengetahui bentuk kestabilan pada model laju perubahan suhu air panas pada termos ini, dapat pula digunakan potret fase untuk memvisualisasikan orbit-orbit dari model tersebut. Berdasarkan model matematika laju perubahan suhu air panas dalam termos yang telah diperoleh sebelumnya, maka dapat diilustrasikan potret fasenya sebagai berikut



Gambar 3. Ilustrasi plot potret fase dari $\dot{T} = -0,389(T(t) - 71,76)$

Pada **Gambar 3** dapat diketahui bahwa ketika suhu awal berada diatas titik $T = 71,76$ °C, maka akan membentuk orbit yang semakin menurun mendekati titik tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa model tersebut stabil menuju titik ekuilibrium. Setelah mengetahui bahwa model matematika laju perubahan suhu air panas pada termos merupakan model yang stabil menuju titik ekuilibrium, maka dapat dilakukan analisis lebih lanjut terkait kestabilan tersebut yaitu dengan melakukan variasi nilai parameter K . Dengan melakukan variasi tersebut, nantinya akan dianalisis mengenai kecepatan dari penurunan suhu yang terjadi.

3.5 Variasi Nilai Parameter K

Nilai parameter K merupakan nilai dari perhitungan antara berbagai parameter yang menyusun termos air panas dan jumlah air yang dimasukkan ke dalam termos air panas. Nilai dari parameter K terdiri dari Nilai konduktivitas termal (k), Koefisien perpindahan kalor konveksi (h), luas penampang termos (A), tebal dinding termos (L), massa air panas yang dimasukkan ke termos (m), massa jenis air (c). Perubahan pada nilai parameter K ini nantinya akan menunjukkan perbedaan dari jenis bahan atau ukuran yang digunakan dalam pembentukan termos air panas. Variasi nilai ini akan ditinjau dalam dua situasi, yaitu ketika K kurang dari 0,389 yang bernilai 0,1 dan ketika K lebih dari 0,389 yang bernilai 0,5 serta kemudian masing-masing akan diilustrasikan dalam bentuk potret fase. Sebelum melakukan visualisasi potret fase pada variasi nilai parameter, perlu pula dilakukan analisis kestabilan dari laju perubahan suhu air panas pada termos dengan nilai parameter $K = 0,1$ dan $K = 0,5$ serta untuk membandingkan kecepatan perubahan suhu yang terjadi.

Ketika model laju perubahan suhu air panas pada termos dengan nilai $K = 0,1$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \dot{T} &= -0,1(T(t) - 71,76) \\ |T(t) - 71,76| &= Ae^{-0,1t} \end{aligned}$$

Kemudian untuk model laju perubahan suhu air panas pada termos dengan nilai $K = 0,5$, maka diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \dot{T} &= -0,5(T(t) - 71,76) \\ |T(t) - 71,76| &= Ae^{-0,5t} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas, kedua model merupakan model sistem dinamik yang stabil terhadap titik ekuilibrium yang sama. Sehingga, dapat kita peroleh perbandingannya adalah sebagai berikut

$$Ae^{-0,1t} > Ae^{-0,5t}$$

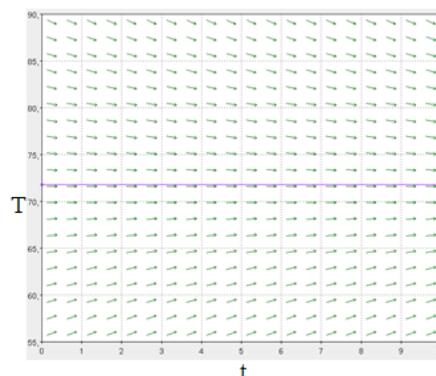
Berdasarkan perbandingan diatas, dapat disimpulkan bahwa dalam model laju perubahan suhu air panas dalam termos, perubahan nilai K dapat mempengaruhi kecepatan sistem untuk menuju titik ekuilibrium. Ketika nilai dari K semakin besar maka kecepatan laju perubahan suhu akan semakin cepat menuju titik ekuilibrium. Sedangkan, ketika nilai dari K semakin kecil atau hingga mendekati 0 maka kecepatan laju perubahan suhu akan semakin lambat untuk menuju titik ekuilibrium. Hal tersebut akan lebih jelas dibuktikan dengan adanya visualisasi model dalam bentuk potret fase

1. Variasi nilai parameter $K = 0,1$

Pada variasi ini, akan digunakan nilai parameter $K = 0,1$ yang kemudian akan disubstitusikan pada model laju perubahan suhu air panas dalam termos sehingga diperoleh

$$\dot{T} = -0,1(T(t) - 71,76)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, maka dapat diperoleh visualisasi potret fasenya adalah sebagai berikut



Gambar 4. Ilustrasi variasi parameter $K = 0,1$

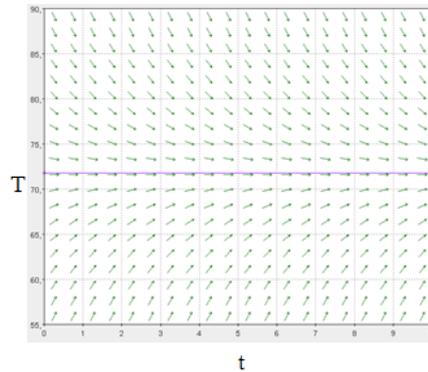
Pada **Gambar 4** dapat diamati bahwa perubahan suhu yang terjadi lebih lambat bila dibandingkan ketika nilai $K = 0,389$. Hal tersebut menunjukkan termos air panas dapat cukup baik untuk menjaga suhu air panas di dalamnya.

2. Variasi nilai parameter $K = 0,5$

Pada variasi ini, akan digunakan nilai parameter $K = 0,5$ yang kemudian akan disubstitusikan pada model laju perubahan suhu air panas dalam termos sehingga diperoleh

$$\dot{T} = -0,5(T(t) - 71,76)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, maka dapat diperoleh visualisasi potret fasenya adalah sebagai berikut



Gambar 5. Ilustrasi variasi parameter $K = 0,5$

Pada **Gambar 5** dapat diamati bahwa perubahan suhu yang terjadi pada air panas lebih cepat terjadi bila dibandingkan ketika parameter $K = 0,389$. Hal ini menunjukkan bahwa termos air panas tidak cukup baik dalam menjaga suhu air panas di dalamnya.

Berdasarkan hasil dari variasi nilai K yang telah dilakukan, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa ketika nilai dari K semakin kecil, maka suhu air panas yang berada di dalam termos akan semakin terjaga dalam waktu yang lebih lama. Sebaliknya, ketika nilai dari K semakin besar, maka suhu air panas di dalam termos akan menjadi lebih cepat menurun dalam waktu yang lebih cepat.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Model matematika untuk fenomena perpindahan panas pada sistem terisolasi di termos air panas dipengaruhi oleh konveksi dan konduksi, yang dapat dituliskan model persamaannya sebagai berikut

$$T = -K(T(t) - T_c)$$

dengan

$$K = \frac{\left(\frac{k \cdot A}{L}\right) + (h \cdot A)}{m \cdot c}$$

2. Termos air panas memiliki peranan untuk menjaga suhu air panas di dalamnya. Seberapa lama air panas dapat menjaga suhunya, dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang terhimpun dalam parameter K , seperti jenis bahan penyusun termos, dimensi dan ukuran, serta seberapa banyak air yang dimasukkan ke dalam termos yang mana apabila nilai dari parameter K semakin kecil, maka perubahan suhu air dalam termos akan semakin lambat. Begitu pula sebaliknya, bila nilai parameter K semakin besar, maka perubahan suhu air dalam termos akan semakin cepat terjadinya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya, serta kepada Program Studi Matematika Institut Teknologi Sumatera atas segala bantuan serta dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, M. D., Noor, D. M., & Rizka, N. (2024). Analisis Model Predator-Prey Tanaman Lada, Hama Penggerek Batang, dan Penghisap Buah. *Mathematical Sciences and Applications Journal*, 60-69.
- Anyanwu, C. S., Gad, A., Bilal, H., & Ewim, D. (2022). Heat Analysis of a Vacuum Flask. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(11).
- Edriani, T. S., Rahmadani, A., & Noor, D. M. (2021). Analisis Hubungan Kepadatan Penduduk dengan Pola Penyebaran COVID-19 Provinsi DKI Jakarta menggunakan Regresi Robust. *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 51-60.
- Ghozi, A. A., Aprianti, A., Dimas, A. D., & Fauzi, R. (2022). Analisis Prediksi Data Kasus Covid-19 di Provinsi Lampung Menggunakan Recurrent Neural Network (RNN). *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 25-32.
- Hakim, L. (2023). *Termodinamika Kimia*. Universitas Brawijaya Press.
- Haryanto, A. (2016). *Termodinamika*.
- Hirsch, M. W., Smale, S., & Devaney, R. L. (2013). *Differential Equations, Dynamical Systems, and An Introduction To Chaos*. Academic Press.
- Lusiani. (2020). *Energi Kalor*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia .
- Noor, D. M., Haniah, & Magdalena, I. (2022). Mathematical model for a liquid heat loss. *AIP Conference Proceedings*.
- Watts, G. (2018). *Lecture notes for Introduction to Dynamical Systems*.