

SIMULASI KOMPUTER SUHU AIR UNTUK SISTEM PEMANAS AIR SURIA TERMOSIFON

Abdul Rahman Abdullah dan Ang Mei Choo

Jabatan Komputeran Industri, Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, Bangi, Selangor, Malaysia

Kamaruzzaman Supian

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, Bangi, Selangor, Malaysia

RINGKASAN: *Kertas ini menimbangkan model matematik bagi aliran termosifon dan keseimbangan haba dalam sistem pemanas air suria jenis aliran termosifon. Dua kaedah beza terhingga iaitu kaedah tak tersirat lompat katak dan kaedah tersirat Wendroff digunakan untuk menentukan suhu air dalam sistem pemanas air suria termosifon. Perbandingan antara dua kaedah ini menunjukkan kaedah tersirat Wendroff lebih sesuai digunakan untuk penghitungan jangka panjang.*

ABSTRACT: This paper considers the mathematical model for thermosyphon flow and heat equilibrium in the thermosyphon solar water heater system. Two finite difference methods namely leapfrog explicit method and Wendroff implicit method, are used for the calculation of the water temperature in the thermosyphon solar water heater system. Comparison between two methods shows that the Wendroff implicit method is more suitable for long term computation.

KATA KUNCI: Sistem pemanas air suria termosifon, simulasi komputer, kaedah beza terhingga.

PENGENALAN

Pemanas air suria termosifon semakin digemari untuk membekalkan air panas di tempat-tempat kediaman. Ini disebabkan oleh alat ini mudah dibina dan dikendalikan serta tidak memerlukan tenaga luar lain untuk menghasilkan pengaliran air dalam sistem (Jesch, 1981).

Close (1962) adalah ahli sains yang pertama kali memodelkan sistem pemanas air suria termosifon ke dalam bentuk matematik. Ong (1974) kemudian menggunakan model Close sebagai asas ujkajinya tetapi berlainan sedikit daripada segi perumusan faktor kecekapan plat dan kaedah penyelesaian. Dalam ujkaji itu, Ong telah mempergunakan kaedah beza terhingga untuk menghitung prestasi sistem pemanas air dan membolehkan suhu sekeliling serta keamatan sinaran sebenar digunakan pada setiap tahap masa pengiraan.

Masalah terbesar semasa pengujian kecekapan sistem pemanas air suria termosifon adalah penilaian kadar aliran jisim air. Penghitungan secara teori dan beranalisis adalah sukar dan nilai seketikanya juga dipengaruhi oleh keamatan sinaran suria dan kesan-kesan persekitaran. Berikutan dengan masalah ini, Saunier *et al.* (1985) telah memperkenalkan suatu model yang mencirikan aliran termosifon dengan parameter-parameter tertentu untuk mengelakkan pengukuran kadar aliran jisim air secara terus. Kemudian nilai-nilai parameter itu dicari dengan analisis regresi ke atas data-data yang diperolehi daripada ujkaji terhadap sistem pemanas air termosifon.

Kertas ini cuba menimbangkan simulasi berkomputer kepada model matematik bagi sistem pemanas air suria yang terdiri daripada tiga komponen utama iaitu sistem pengaliran termosifon, pengumpul plat datar dan tangki penyimpan air. Model matematik untuk sistem pemanas air suria termosifon ini akan dicirikan oleh model aliran termosifon, model pengumpul suria dan model tangki penyimpan (Saunier *et al.*, 1985). Seterusnya, model matematik yang terbabit ini dihipotesis secara berangka oleh kaedah beza terhingga. Dua kaedah beza terhingga yang digunakan dalam simulasi ini ialah kaedah lompat katak (Vemuri & Karplus, 1981) dan kaedah tersirat Wendroff (Smith, 1978). Kedua-dua kaedah ini dilaksanakan dan perbandingan antara kedua-duanya dilakukan.

SISTEM PEMANAS AIR SURIA TERMOSIFON

Struktur sistem pemanas air suria termosifon terdiri daripada tiga komponen utama (Eggers-Lura, 1979) iaitu:

- (a) pengumpul suria
- (b) tangki penyimpan air, dan
- (c) paip penyambung

Pengumpul suria plat datar biasa digunakan dalam pemanas air suria kerana operasinya paling asas dan mudah (Hottel & Woertz, 1942). Ia dicondongkan dan diletak di bahagian bawah tangki air. Jarak minimum antara bahagian bawah tangki dengan bahagian atas pengumpul adalah sebanyak 0.3 m sementara jarak maksimum 0.6 m (Jesch, 1981). Tangki penyimpanan air berbentuk silinder dan diperbuat daripada kuprum, keluli atau aluminium yang kemudian ditebat. Terdapat dua penyambung yang menghubungkan tangki penyimpanan dan pengumpul. Paip penyambung yang menghubungkan bahagian atas tangki dengan pengumpul membawa air yang telah dipanaskan oleh pengumpul ke dalam tangki sementara paip penyambung yang satu lagi membawa air dari bahagian bawah tangki ke dalam pengumpul untuk dipanaskan.

Model Aliran Termosifon

Aliran termosifon berkait rapat dengan suhu air dalam pengumpul dan tangki air. Akibat daripada sinaran suria pada plat pengumpul, air yang dipanaskan dalam pengumpul menjadi kurang tumpat daripada air dalam tangki penyimpanan. Ketidakseimbangan ketumpatan membolehkan tarikan graviti bertindak supaya air yang berketumpatan tinggi daripada tangki mengalir masuk ke dalam pengumpul sementara air yang kurang tumpat dalam pengumpul pula mengalir keluar ke tangki dan berlakulah aliran termosifon.

Kuasa berpindah melalui aliran termosifon daripada pengumpul kepada tangki penyimpanan air iaitu GC_p diberikan oleh persamaan berikut (Saunier *et al.*, 1985):

$$GC_p = w [T_{cm} - T_i] - \lambda (T_{35} - T_i)^{1/2} \quad (1)$$

dengan

G = kadar aliran jisim per unit luas pengumpul, $\text{kgs}^{-1} \text{m}^{-2}$

C_p = haba tentu air, $\text{JKg}^{-1} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$

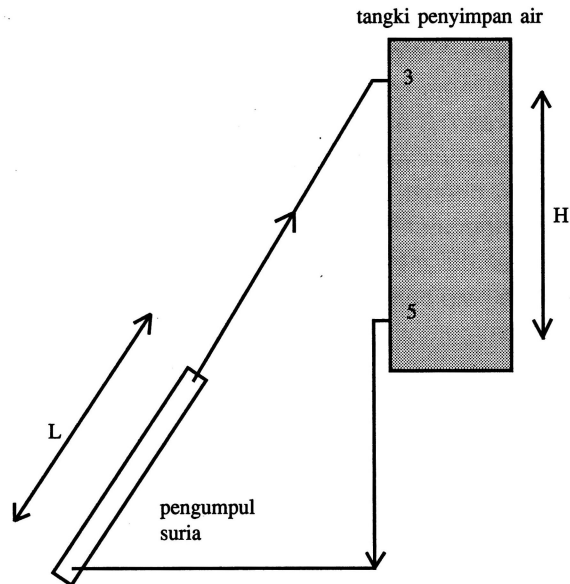
w = pekali pemindahan kuasa, $\text{Wm}^{-2} \text{ } ^\circ \text{C}^{-3/2}$

λ = pekali perencat

T_{cm} = suhu purata pengumpul, $^\circ \text{C}$

T_{35} = suhu purata tangki antara nod 3 dan nod 5 (rujuk rajah 1), $^\circ \text{C}$

T_i = suhu air masuk pengumpul, $^\circ \text{C}$



Rajah 1. Sistem Pemanas Air Suria Termosifon

Model Pengumpul Suria

Pengumpul suria berbentuk plat datar adalah jenis pengumpul yang paling asas dan ringkas digunakan dalam sistem pemanas air suria. Ia merupakan tempat berlakunya penyerapan dan penukaran tenaga suria kepada bentuk tenaga haba.

Keseimbangan haba pengumpul diberikan oleh persamaan berikut (Saunier *et al.*, 1985):

$$M_e C_p \left(\frac{\partial T_c}{\partial \tau} \right) = \eta_o I_T - LGC_p \left(\frac{\partial T_c}{\partial y} \right) - U_c (T_c - T_a) \quad (2)$$

M_e = muatan jisim berkesan pengumpul, kgm^{-2}

η_o = kecekapan optik pengumpul

I_T = keamatan sinaran suria, Wm^{-2}

U_c = pekali kehilangan haba pengumpul, $\text{Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

T_c = suhu air pengumpul, $^\circ\text{C}$

T_a = suhu udara persekitaran, $^\circ\text{C}$

Merujuk kepada persamaan (2) di atas, bermula dari sebelah kiri, $M_e C_p (\partial T_c / \partial \tau)$ mewakili muatan haba berkesan dalam pengumpul, $\eta_o I_T$ memberikan jumlah tenaga suria yang diserap oleh pengumpul manakala kehilangan haba kepada aliran termosifon dan persekitaran diberikan masing-masing oleh $LGC_p (\partial T_c / \partial y)$ dan $U_c (T_c - T_a)$.

Model Tangki Penyimpan Air

Tangki digunakan untuk menerima air panas daripada pengumpul dan membekalkan air kepada pengumpul suria untuk dipanaskan seterusnya.

Keseimbangan haba dalam tangki diberikan oleh persamaan berikut (Saunier *et al.*, 1985):

$$M_s C_p \left(\frac{\partial T_s}{\partial \tau} \right) = A_c H G C_p \left(\frac{\partial T_s}{\partial h} \right) - U_s (T_s - T_a) \quad (3)$$

dengan

M_s = muatan jisim air, kg

H = ketinggian tangki, m

U_s = pekali kehilangan haba tangki, $W \text{ } ^\circ C^{-1}$

T_s = suhu air tangki, $^\circ C$

Daripada persamaan (3), $M_s C_p (\partial T_s / \partial \tau)$ mewakili muatan haba air dalam tangki, $A_c H G C_p (\partial T_s / \partial h)$ mewakili haba berguna yang diterima daripada pengumpul dan $U_s (T_s - T_a)$ adalah kehilangan haba daripada tangki kepada persekitaran.

Suhu air dalam sistem pemanas air suria termosifon boleh ditentukan dengan menyelesaikan persamaan (1), (2) dan (3). Persamaan (2) dan (3) melibatkan terbitan separa yang sukar diselesaikan secara analisis, maka kaedah beza terhingga digunakan untuk menyelesaikan dua persamaan itu.

KAEDAH BEZA TERHINGGA BAGI SISTEM PEMANAS AIR SURIA TERMOSIFON

Kaedah tak tersirat lompat katak

Kaedah ini melakukan penghampiran beza pusatan (Vemuri & Karplus, 1981) terhadap terbitan separa $\partial T_c / \partial \tau$, $\partial T_c / \partial y$, $\partial T_s / \partial \tau$, $\partial T_s / \partial h$ pada kedudukan (i, j) dalam pengumpul dan tangki penyimpanan air masing-masing. Persamaan (2) selepas pengdiskretan adalah seperti berikut:

$$M_e C_p \left(\frac{T_{c_{i,j+1}} - T_{c_{i,j-1}}}{2\Delta\tau} \right) = \eta_o I_T - L G C_p \left(\frac{T_{c_{i+1,j}} - T_{c_{i-1,j}}}{2\Delta y} \right) - U_c (T_{c_{i,j}} - T_a) \quad (4)$$

Persamaan (3) pula adalah seperti berikut:

$$M_s C_p \left(\frac{T_{s_{i,j+1}} - T_{s_{i,j-1}}}{2\Delta\tau} \right) = A_c H G C_p \left(\frac{T_{s_{i-1,j}} - T_{s_{i+1,j}}}{2\Delta h} \right) - U_s (T_{i,j} - T_a) \quad (5)$$

Suhu air dalam pengumpul pada tahap masa berikut iaitu $T_{C_{i,j+1}}$ boleh dicari daripada persamaan (4). Penyelesaiannya akan bergantung kepada suhu air pengumpul $T_{C_{i,j}}$, $T_{C_{i,j-1}}$, $T_{C_{i+1,j}}$, $T_{C_{i-1,j}}$. Suhu air dalam tangki yang baru T_s pula dihitung daripada persamaan (5) yang bergantung kepada suhu tangki $T_{S_{i,j}}$, $T_{S_{i,j-1}}$, $T_{S_{i+1,j}}$, $T_{S_{i-1,j}}$.

Kaedah Tersirat Wendroff

Terbitan-terbitan separa yang digunakan dalam persamaan (2) dan (3) dihapirkan pada kedudukan $(i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2})$ (Smith, 1978). Ini dilakukan dengan mengambil purata nilai-nilai terbitan separa pada titik $(i, j + \frac{1}{2})$ $(i + 1, j + \frac{1}{2})$ dan yang dihapirkan secara beza pusat seperti berikut:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} &\approx \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{i, j+\frac{1}{2}} + \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{i+1, j+\frac{1}{2}} \right\} \\ &\approx \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta x} \right) + \left(\frac{T_{i+1,j+1} - T_{i+1,j}}{\Delta x} \right) \right\} \end{aligned}$$

Selepas pengdiskretan persamaan (2) dan (3) akan berbentuk seperti berikut:

$$\begin{aligned} M_e C_p \left(\frac{T_{C_{i,j+1}} - T_{C_{i,j}} + T_{C_{i+1,j+1}} - T_{C_{i+1,j}}}{2\Delta\tau} \right) &= \eta_o I_T - LGC_p \left(\frac{T_{C_{i+1,j}} - T_{C_{i,j}} + T_{C_{i+1,j+1}} - T_{C_{i,j+1}}}{2\Delta y} \right) \\ &\quad - U_c \left[\frac{1}{4} (T_{C_{i+1,j}} + T_{C_{i,j}} + T_{C_{i+1,j+1}} + T_{C_{i,j+1}}) - T_a \right] \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s C_p \left(\frac{T_{S_{i,j+1}} - T_{S_{i,j}} + T_{S_{i+1,j+1}} - T_{S_{i+1,j}}}{2\Delta\tau} \right) &= A_c HGC_p \left(\frac{T_{S_{i,j}} - T_{S_{i+1,j}} + T_{S_{i,j+1}} - T_{S_{i+1,j+1}}}{2\Delta h} \right) \\ &\quad - U_s \left[\frac{1}{4} (T_{S_{i+1,j}} + T_{S_{i,j}} + T_{S_{i+1,j+1}} + T_{S_{i,j+1}}) - T_a \right] \quad (7) \end{aligned}$$

Suhu air dalam pengumpul pada tahap masa berikut iaitu $T_{C_{i,j+1}}$ boleh dicari daripada persamaan (6). Penyelesaiannya akan bergantung kepada suhu air $T_{C_{i,j}}$, $T_{C_{i,j+1}}$, $T_{C_{i+1,j+1}}$, $T_{C_{i+1,j}}$. Suhu air dalam tangki yang baru $T_{S_{i,j+1}}$ pula dihitung daripada persamaan (7) yang bergantung kepada suhu air tangki $T_{S_{i,j}}$, $T_{S_{i,j+1}}$, $T_{S_{i+1,j+1}}$, $T_{S_{i+1,j}}$.

SIMULASI BERANGKA

Dalam usaha melakukan penghitungan, data-data cuaca iaitu keamatan sinaran suria dan suhu udara persekitaran direkod bermula daripada 8 pagi sehingga 6 petang pada setiap 6 minit. Untuk memudahkan penghitungan, anggapan telah dibuat bahawa data-data cuaca adalah malar dalam selang masa perekodan.

Simulasi berangka bermula daripada pengumpul dan suhu air pengumpul $T_{c,i,j+1}$ dihitung dengan menggunakan persamaan (4) untuk kaedah tak tersirat lompat katak atau persamaan (6) untuk kaedah tersirat Wendroff. Andaikan paip penyambung ditebat dengan sempurna dan andaikan juga tiada kehilangan haba berlaku semasa air mengalir dalam paip penyambung, maka suhu air yang diperolehi pada grid terakhir, $T_{c,i,j+1}$ iaitu suhu air keluar pengumpul tidak berubah sepanjang paip penyambung dan dijadikan nilai sempadan kepada komponen tangki. Kemudian suhu air dalam tangki, $T_{s,i,j+1}$ dihitung dengan menggunakan persamaan (6) untuk kaedah lompat katak dan persamaan (7) untuk kaedah Wendroff. Dengan sifat keselajaran masa (Vemuri & Karplus, 1981), nilai suhu air pada grid terakhir, $T_{s,i,j+1}$ dalam tangki akan dijadikan nilai sempadan kepada pengumpul pada peringkat masa baru yang berikutan.

Semasa kaedah lompat katak digunakan, nilai untuk T_c , $T_{c,i,j+1}$, T_s , $T_{s,i,j+1}$ apabila $\tau = 0$ dianggap sama dan nilainya disamakan dengan suhu air dalam pengumpul pada jam 8 pagi iaitu suhu air semasa eksperimen dimulakan.

Parameter-parameter yang digunakan berdasarkan kepada sistem pemanas air termosifon yang berjenama Solefil (Saunier *et al.*, 1985) dan nilai-nilainya adalah seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 A_c &= 2.00 \text{ m}^2 \\
 H &= 0.85 \text{ m} \\
 L &= 2.07 \text{ m} \\
 M_e &= 2.384 \text{ kgm}^{-2} \\
 M_s &= 145 \text{ kg} \\
 U_c &= 4.17 \text{ Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\
 U_s &= 3.16 \text{ W } ^\circ\text{C}^{-1} \\
 \lambda &= 0.0 \\
 w &= 22 \text{ Wm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3/2} \\
 \eta_c &= 0.805
 \end{aligned}$$

HASIL DAN PERBINCANGAN

Perbandingan hasil penghitungan ditumpukan kepada suhu air keluar pengumpul iaitu suhu air $T_{c,n,j}$ pada grid terakhir dalam pengumpul. Hasil penghitungan kedua-dua kaedah itu dapat dilihat dalam Jadual 1 dan Jadual 2.

Saiz subselang masa $\Delta\tau$ yang dikaji untuk kaedah lompat katak termasuk 0.3s, 0.9s, 3.6s dan 7.2s. Akan tetapi simulasi komputer ini terpaksa dihentikan apabila suhu purata pengumpul lebih kecil daripada suhu air yang masuk ke dalam pengumpul. Keadaan ini menyebabkan GC_p dalam persamaan (1) tidak dapat dinilai.

Sementara kaedah tersirat Wendroff menunjukkan kebolehannya untuk $\Delta\tau = 0.9 \text{ s}$, 3.6 s , 7.2 s , 15 s dan 20 s . Suhu air keluar pengumpul bermula daripada pukul 8 pagi telah berjaya dihitung sehingga 6 petang.

KESIMPULAN

Berpandukan kepada model matematik bagi aliran termosifon dan model keseimbangan haba dalam sistem pemanas air suria jenis aliran termosifon, dua kaedah beza sehingga telah dicuba untuk simulasi suhu air dalam sistem pemanas air suria jenis aliran termosifon. Daripada hasil simulasi, dapat dibuat kesimpulan bahawa kaedah tersirat Wendroff merupakan kaedah yang lebih sesuai daripada kaedah lompat katak dalam penghitungan jangka panjang.

Jadual 1. Hasil Penghitungan Untuk Suhu Air Keluar Pengumpul, $T_{c,n,j}$ (Kaedah Lompat Katak)

$\Delta\tau$ \ Waktu	7.2 s	3.6 s	0.9 s	0.3 s
8:00	23.80	23.80	23.80	23.80
8:03	24.24	24.23	24.23	24.23
8:06	24.62	24.62	24.62	24.62
8:09	25.04	25.02	25.02	24.97
8:12	25.09	25.25	25.24	25.16
8:15	25.63	25.31	25.26	25.07
8:18	24.83	25.46	25.33	25.04
8:21	26.56	25.77	25.55	25.09
8:24		26.07	25.69	25.09
8:27		26.54	25.98	25.12
8:30			26.00	25.11
8:33			25.63	25.08
8:36			23.47	24.94
8:39				24.60
8:42				23.84

Jadual 2. Hasil Penghitungan Untuk Suhu Air Keluar Pengumpul, $T_{c,j}$ (Kaedah Wendroff)

$\Delta\tau$ Waktu	0.9 s	3.6 s	7.2 s	15 s	20 s
8:00	23.80	23.80	23.80	23.80	23.80
9:00	26.93	26.90	26.92	26.87	26.90
10:00	31.72	31.74	31.71	31.64	31.68
11:00	37.64	37.53	37.65	37.94	37.57
12:00	44.87	45.02	44.87	45.25	45.00
13:00	48.52	45.27	48.40	45.18	48.37
14:00	59.99	59.81	59.81	59.75	60.44
15:00	65.86	65.55	65.77	65.67	66.42
16:00	67.53	67.75	67.53	67.38	67.12
17:00	69.21	69.12	69.38	69.61	69.59
18:00	67.97	68.45	68.02	68.02	68.00

RUJUKAN

Close, D.J. (1962). The performance of a solar water heaters with natural circulation. *Solar Energy* **6** : pp 33-40.

Eggers-Lura, A. (1979). *Solar Energy in developing countries, an overview and buyers guide for solar scientists and engineers*, Pergamon Press, Oxford.

Hottel, H.C. & Woertz, B.B. (1942). The performance of flat-plate solar-heat collectors. *Trans. ASME* **64** : pp 91-104.

Jesch, L.F. (1981). *Solar energy today*, UK-ISES, London.

Ong, K.S. (1974). A finite-difference method to evaluate the thermal performance of a solar water heater. *Solar Energy*, **16** : pp 137-147.

Saunier, G.Y., Bouix, Ph., Supachart Chungpaibulpatana and Thada Vitagsabootr (1985). *A test procedure for thermosyphone solar water heaters*, dalam Solar Thermal Component And System Testing : Proceedings of the Forth Asian School on Solar Energy Harnessing 12-20 Dec.1985 : pp 163-177.

Smith, G. D. (1978). *Numerical solution of partial differential equations, finite difference methods*. 2nd Ed., Clarendon Press, Great Britain.

Vemuri, V. & Karplus, W.J. (1981). *Digital computers treatment of partial differential equations*, Prentice Hall Inc, New Jersey.