

PENGUJIAN KAPASITAS TANGKI PENYIMPANAN KALOR DAN EFISIENSI KOLEKTOR PADA PEMANAS AIR TENAGA SURYA

Noor Fachrizal dan Rivai Mustafa

Balai Besar Teknologi Energi - BPPT, PUSPIPTEK, Serpong, 15314, Tangerang, Indonesia.

Abstrak

Unjuk kerja Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) disajikan oleh respon temperatur air dalam tangki terhadap efek termosifon, respon temperatur air tangki terhadap pemanas tambahan yang dikendalikan oleh termostat, serta unjuk kerja kolektor surya. Hasil uji termosifon menunjukkan penurunan temperatur sebesar 10.4% dari kisaran temperatur maksimum-minimumnya. Pada uji termostat, temperatur air dalam tangki mencapai nilai temperatur acuan dalam 2 jam, tetapi mengalami lonjakan (*overshoot*) selama 2 jam berikutnya. Sementara itu termostat menyalakan kembali pemanas listrik tambahan pada temperatur 4°C - 5°C dibawah angka acuan. Temperatur absorber dapat mencapai 78 °C pada radiasi matahari 974 W/m². Perhitungan berdasarkan data yang diperoleh menunjukkan faktor rugi-rugi panas dalam tangki sebesar 0.77 W/m².K. Angka ini menyatakan bahwa unit yang diuji memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI. Hasil test menunjukkan efisiensi rata-rata 44% dan $U_{lc} F_p = 4.51$. Berdasarkan pengujian ini maka PATS yang diuji dikategorikan sebagai Kelas IV berdasarkan standard SNI 04-3021-1992.

Kata Kunci: Pemanas Air Tenaga Surya, kolektor, Pengujian

Abstract

Performance of solar water heater is described by water temperature in the tank as a response of thermosiphon effect, termostat response on temperature set-point to operate the auxiliary electric heater and its collector performance. Thermosiphon testing of the tested unit shows that percentage of temperature drop is about 10.4% of the range between the highest and the lowest temperature. During thermostat testing, water temperature in the tank reached its set-point within 2 hours. It continually increases and shows overshoot in the next 2 hours. The thermostat turned on the auxiliary electric heater at temperature 4-5°C below the set-point. During testing, the absorber temperature reached maximum of 78°C when the peak of insolation is 974 W/m². Calculation of measured data gives thermal losses of 0.77 W/m².K. This means the tested unit fulfils the requirement stated in SNI. Testing results give average efficiency of 44% and $U_{lc} F_p$ of 4.51. Based on the test result, this solar water heater is categorized as class IV based on SNI 04-3021-1992.

1. PENDAHULUAN.

Pemanas air tenaga surya (PATS) merupakan produk teknologi yang memanfaatkan energi termal surya yang cukup populer dan banyak digunakan, terutama di hotel dan vila peristirahatan hingga perumahan. Seiring dengan itu, mulai beredar beberapa merek PATS domestik maupun impor yang banyak dipasarkan di masyarakat. Untuk perlindungan terhadap konsumen, telah dikeluarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk produk ini, berupa uji mutu sistem PATS yang diharapkan memberikan gambaran pada masyarakat akan mutu PATS yang dipasarkan.

Kualitas unit PATS bergantung pada keandalan fisik dan kemampuan termal sistem seperti kemampuan menyerap panas, kemampuan menyimpan panas, komponen kolektor termal surya, komponen tangki air, rendahnya rugi-rugi panas kedua komponen tersebut dan kemampuan responsif pemanas tambahan.

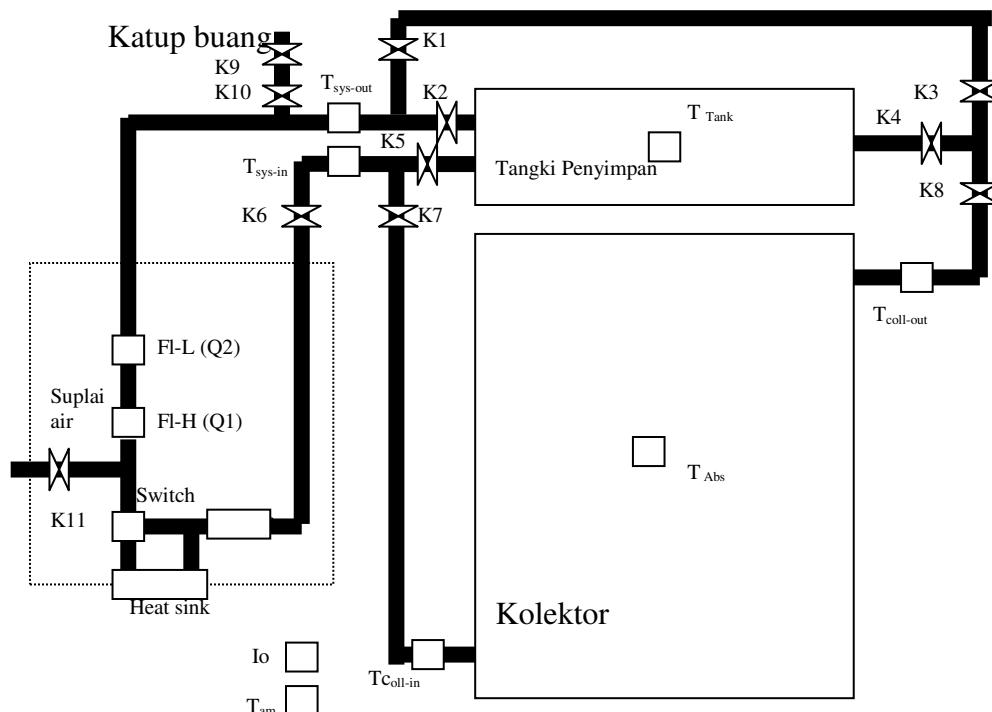
Berikut ini disajikan hasil pengujian satu unit PATS sebuah produk domestik. PATS yang diuji berkapasitas 180 liter air dengan luas kolektor 1.973 m^2 , serta pemanas tambahan 1000 W. Prosedur pengujian PATS dan persyaratan mutunya mengacu pada aturan SNI 04-3021-1992.

2. KONFIGURASI DAN PARAMETER PENGUJIAN PATS

Pengujian kualitas unit PATS terdiri dari 3 sub pengujian, yaitu :

- Pengujian keandalan fisik komponen PATS
- Uji efisiensi kolektor
- Pengujian kemampuan termal unit PATS

Uji keandalan fisik tak dibicarakan di sini karena dinilai lebih bersifat kualitatif. Skema rangkaian uji mutu PATS diberikan pada Gambar 1. Kemiringan kolektor 15° agar radiasi tegak lurus bidang kolektor, sedangkan variabel yang diukur dalam pengujian ini diberikan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Skema Pengujian PATS

Sensor *flow* terdiri dari dua unit dengan rentang berbeda. Peralatan ini sudah terpasang dan mampu mendukung pengujian dengan kapasitas sampel uji yang lebih besar. *Thermo-switch* digunakan untuk mengalirkan sebagian fluida ke *heat-sink*, berfungsi untuk membuang sebagian panas sehingga temperatur fluida yang masuk ke kolektor dapat diatur relatif konstan.

Tabel 1. Parameter yang diukur

No.	Variabel Ukur	Deskripsi	Satuan
1	T_{sys-in}	Temperatur air masuk sistem	°C
2	$T_{coll-in}$	Temperatur air masuk kolektor	°C
3	$T_{coll-out}$	Temperatur air keluar kolektor	°C
4	T_{tank}	Temperatur air dalam tangki penyimpan	°C
5	$T_{sys-out}$	Temperatur air panas keluar dari sistem	°C
6	T_{abs}	Temperatur permukaan absorber kolektor	°C
7	T_{am}	Temperatur udara lingkungan	°C
8	Fl-L	Laju aliran air (rentang maks 6 lt.men)	Lt/men
9	Fl-H	Laju aliran air (rentang maks 12 lt.men)	Lt/men
10	I_o	Radiasi matahari tegaklurus bidang kolektor	W/m ²

3. METODA PENGUJIAN RESPON DAN KAPASITAS PENYIMPAN KALOR

3.1 Uji Termosifon

Pengujian ini ditujukan untuk melihat dan menentukan dinamika temperatur air dalam PATS, mengetahui temperatur air maksimum yang dapat dicapai serta untuk menentukan harga-harga kehilangan panas dari kolektor dan tangki penyimpan serta untuk menentukan kemampuan PATS untuk menghasilkan dan penyimpanan air panas tanpa mengoperasikan pemanas tambahan pada proses pengeluaran air panas terus menerus. Yang tersebut terakhir dilakukan di akhir pengujian.

Pada malam hari sebelum pengujian dimulai, air dingin dialirkan ke seluruh sistem untuk mengkondisikan keadaan awal sistem dengan membuka suplai air K11. Dalam pengujian ini semua katup lainnya dibuka kecuali K1 dan K3 ditutup, kemudian katup pengeluaran air K9 dibuka dan katup pembatas laju aliran air K10 diatur sedemikian rupa sehingga aliran air sekurang-kurangnya 1 liter/menit dan sebesar-besarnya sama dengan kapasitas tangki penyimpan dibagi dua jam. Kemudian katup pengeluaran air dan suplai air ditutup sehingga tak ada aliran air masuk dan keluar sistem PATS. Dalam operasi ini pemanas tambahan tak difungsikan sehingga sistem hanya menggunakan pemanas air dari kolektor surya.

Variabel yang diukur dalam pengujian ini adalah T_{sys-in} , $T_{sys-out}$, T_{tank} , T_{amb} , T_{abs} , Fl, dan I_o , selama 24 jam, pengujian dilakukan terus menerus sedikitnya 120 jam, sehingga diperoleh temperatur maksimum tangki lebih dari 70°C, dan hasil rata-rata pengukuran direkam setiap 10

menit (ada 20 data setiap menit). Setelah kondisi pengujian dicapai, pada malam hari pada hari terakhir pengujian, katup pengeluaran air K9 dan suplai air K11 dibuka penuh sepanjang malam, selama pengeluaran air variabel-variabel tetap diukur. Pada proses ini pompa dinyalakan untuk memberikan laju konstan saat pembuangan air.

Perhitungan yang dilakukan diuraikan berikut ini.

Penentuan persentase dinamika T_{tank} pada temperatur maksimum dan minimumnya.

$T_{\text{tank-maks}}$ dilihat pada temperatur puncak tangki penyimpan pada satu hari, sedangkan $T_{\text{tank min}}$ ditentukan dari temperatur minimum yang dicapai tangki pada hari berikutnya. Perhitungan dilakukan hanya pada hari-hari pengujian sebelum pembuangan panas pada akhir pengujian. Semakin kecil rugi-rugi termal tangki, semakin kecil beda temperatur maksimum dan minimum air dalam tangki.

Koefisien rugi-rugi .

Koefisien rugi-rugi tangki penyimpan U_{ls} adalah tetapan rugi-rugi panas tangki ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$). Perhitungan ini untuk menentukan harga U_{ls} rata-rata tangki. Persamaan yang digunakan :

$$U_{ls} = \frac{M \cdot C_p}{A_s \cdot t} \ln \left(\frac{T_{\text{tank-i}} - T_{amb}}{T_{\text{tank-f}} - T_{amb}} \right) \quad (1)$$

Dengan $T_{\text{tank-i}}$ adalah temperatur tangki pada awal pengukuran, $T_{\text{tank-f}}$ temperatur tangki diakhir pengukuran, A_s luas permukaan efektif tangki, t adalah selang waktu pengukuran. Persamaan (1) digunakan untuk menghitung setiap data pengukuran (tiap 10 menit) hingga diperoleh harga U_{ls} harian, selama pengukuran beralangsung, yaitu hingga dicapai temperatur tangki sebesar 70°C . Harga U_{ls} ini kemudian dirata-rata sehingga diperoleh harga keseluruhan. Mengacu pada SNI 04-3021-1992 faktor kehilangan ini tak boleh melebihi $1.75 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$.

M adalah massa air dalam tangki (kg). ASHRAE Standard (1986) menuliskan M dalam fungsi temperatur tangki sebagai berikut:

$$M = \frac{(1000.205 + 0.01928318 T_{\text{mean}} - 0.00610612 T_{\text{mean}}^2 + 0.00001828 T_{\text{mean}}^3 - 0.0000000119633 T_{\text{mean}}^4)}{1000} \times C_t \quad (2)$$

T_{mean} adalah temperatur rata-rata tangki ($^\circ\text{C}$) pada awal pengukuran $T_{\text{tank-i}}$ dan akhir pengukuran $T_{\text{tank-f}}$, diberikan oleh persamaan:

$$T_{\text{mean}} = \frac{(T_{\text{tank-i}} + T_{\text{tank-f}})}{2} \quad (3)$$

C_t adalah kapsitas tangki (liter),

C_p adalah kalor jenis air yang merupakan fungsi temperatur (ASHRAE Standard, 1986):

$$\begin{aligned}
 Cp = & 4216.956 - 3.47519T_{\text{mean}} + 0.1218524T_{\text{mean}}^2 \\
 & - 0.00248039T_{\text{mean}}^3 + 0.00002246634T_{\text{mean}}^4 \\
 & - 0.000000120792T_{\text{mean}}^5 + 0.0000000002711372T_{\text{mean}}^6
 \end{aligned} \tag{4}$$

Energi tersimpan dalam tangki.

Energi tersimpan dalam tangki yang diperoleh dari perhitungan energi yang dibuang dalam proses pengeluaran air panas secara terus menerus pada akhir proses pengukuran termosifon ini. Perhitungan mulai dilakukan pada saat air mulai dibuang, yaitu mulai tercatat adanya data F_l , dan diakhiri pada bila beda temperatur $T_{\text{sys-out}}$ dan $T_{\text{sys-in}}$ kurang dari 3°C . Untuk kasus perhitungan ini bila memungkinkan dapat dilakukan sampai beda $T_{\text{sys-out}}$ dan $T_{\text{sys-in}}$ mendekati nol untuk menambah akurasi perhitungan.

Energi yang dibuang W (watt) dan akumulasinya Q_{loss} (joule):

$$W = \dot{m} \cdot Cp \cdot dT \tag{5a}$$

$$Q_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^{\infty} W \cdot 600 \tag{5b}$$

Kapasitas panas air ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$):

$$\begin{aligned}
 Cp = & 4216.956 - 3.47519T_{\text{avg}} \\
 & + 0.1218524T_{\text{avg}}^2 - 0.00248039T_{\text{avg}}^3 \\
 & + 0.00002246634T_{\text{avg}}^4 - 0.000000120792T_{\text{avg}}^5 \\
 & + 0.0000000002711372T_{\text{avg}}^6
 \end{aligned} \tag{6}$$

Laju massa (kg/det) dihitung dengan :

$$\dot{m} = \frac{\rho \cdot F_l}{60000} \tag{7}$$

F_l adalah laju alir air (liter/men).

Berat Jenis air ρ (kg/m^3) diberikan oleh persamaan:

$$\begin{aligned}
 \rho = & 1000.205 + 0.01928318T_{\text{avg}} - 0.00610612T_{\text{avg}}^2 \\
 & + 0.00001828T_{\text{avg}}^3 - 0.0000000119633T_{\text{avg}}^4
 \end{aligned} \tag{8}$$

T_{avg} adalah rata-rata $T_{\text{sys-out}}$ dan $T_{\text{sys-in}}$, sedangkan dT adalah selisih $T_{\text{sys-out}}$ dan $T_{\text{sys-in}}$, densitas ρ dan Cp air panas dihitung berdasarkan harga T_{avg} tersebut.

Perhitungan dilakukan setiap 10 menit pengukuran, dan terakumulasi pada Q_{loss} (joule) sebagai panas yang terkumpul dalam tangki.

3.2 . Pengujian Termostat

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan sistem pemanas air tambahan (*electric heater*) untuk menghasilkan air panas dan respon yang dihasilkan termostat untuk pengaturan temperatur air dalam tangki penyimpannya. Dari pengujian termostat ini dihasilkan juga uji penyimpanan air panas selama pembuangan air panas terus menerus

Pengkondisian awal sistem PATS pada pengujian ini dilakukan seperti pada pengujian efek termosifon, namun panas diperoleh dari pemanas tambahan, dengan demikian pemanas tambahan harus diaktifkan dan kolektor PATS ditutup agar tak dapat menerima panas surya. Termostat diatur pada T_{set} tertentu. Pada pengujian ini dilakukan pada dua harga T_{set} yaitu pada temperatur operasi 50°C dan temperatur maksimum 70°C . Pada pengujian dengan $T_{set} 70^{\circ}\text{C}$, respon diperoleh pada $T_{set} \pm 3^{\circ}\text{C}$ dan termostat menghentikan operasi pemanas tambahan. Termostat tidak difungsikan. Setelah 10 menit dilakukan pengeluaran air panas secara terus menerus pada laju seragam, minimal 1 liter/menit dan sebesar-besarnya sama dengan kapasitas tangki dibagi dua jam. Selama operasi ini data dicatat setiap 15 menit (dalam hal ini diambil 10 menit) data dari T_{tank} , T_{amb} , Fl , $T_{\text{sys-in}}$, $T_{\text{sys-out}}$.

Perhitungan yang dilakukan pada pengujian termostat ini dilakukan hanya pada pembuangan air panas secara terus menerus, sedangkan respon hanya diamati secara kualitatif. Cara perhitungan, rumus yang digunakan, data yang dibutuhkan, serta kondisi pengukuran sama seperti yang dilakukan pada pembuangan air terus menerus pada pengujian termosifon.

4. METODA PENGUJIAN KOLEKTOR SURYA

Setelah kolektor terpasang seperti konfigurasi pada Gambar 1, awalnya semua katup dibuka kecuali K2, K4, K5, K9, dan K11 yang ditutup sehingga jalur air ke tangki tertutup dan membentuk sirkulasi air tertutup dalam sistem kolektor. Sensor-sensor tetap terpasang pada sistem pencatat data, perangkat uji dapat diaktifkan. Laju aliran fluida kerja (air) diusahakan pada laju yang menghasilkan aliran turbulen, untuk kasus PATS ini direkomendasikan sekitar 2 - 2.5 liter/menit (minimal $0.0136 \text{ kg}/(\text{det. m}^2)$), dengan perubahan maksimum sebesar 1%. Tekanan fluida sekitar 2.4 bar (minimal 2 bar) harus diperoleh setelah kolektor terisi air dan tidak ada gelembung udara yang terjebak di dalamnya.

Laju angin yang melintasi kolektor maksimum 4.5 m/det. *Heat sink* pada instalasi pengujian dinyalakan, *thermal-switch* diatur hingga air yang menjadi input kolektor mendekati stasioner pada temperatur tertentu, dan bila radiasi matahari mencukupi. Temperatur input kolektor ini idealnya dikondisikan pada 3 daerah stasioner antara 32°C hingga 60°C , misalkan 40°C , 50°C , 60°C . Pengubahan *thermal-switch* ini harus dilakukan setiap hari agar diperoleh input air pada temperatur tertentu. Data direkam dari rata-rata 300-600 sampel dalam 10 menit.

Data-data yang direkam untuk perhitungan disajikan dalam bentuk tabel. Akumulasi radiasi surya dihitung berdasarkan asumsi linieritas selama 10 menit perekaman data, sehingga diperoleh radiasi surya setiap meter persegi yang dikumpulkan selama waktu cacah.

Dari setiap data (direkam setiap 10 menit) dilakukan perhitungan harga efisiensi kolektor sesaat. Dari data harian, yaitu data akumulasi dalam satu hari dilakukan perhitungan efisiensi harian.

Efisiensi sesaat (η_s) kolektor didasarkan pada formula :

$$\eta_s = \frac{W_u}{I_o \cdot A_c} = \tau \cdot \alpha \cdot F_p - U_{lc} \cdot F_p \cdot \frac{(T_{avg-c} - T_{amb})}{I_o} \quad (9)$$

$$W_u = \tau \cdot \alpha \cdot F_p \cdot A_c \cdot I_o - U_{lc} \cdot F_p \cdot A_c \cdot (T_{avg-c} - T_{amb}) \quad (10)$$

τ adalah faktor transmisi kaca, α adalah absorsivitas absorber, A_c adalah luas kolektor, F_p adalah efisiensi absorber, I_o adalah radiasi surya dalam Watt/m^2 , U_{lc} adalah faktor rugi-rugi termal kolektor dalam $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$.

Efisiensi harian η_d diperoleh dari persamaan :

$$\eta_d = \frac{Q_u}{\sum I_o A_c 0.6} \quad (11)$$

W_u (watt) adalah energi guna yang dikumpulkan kolektor dan akumulasinya Q_u (dalam satuan joule) diberikan dalam persamaan :

$$W_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot dT \quad (12a)$$

$$Q_u = \sum_{i=1}^{\infty} W_u \cdot 600 \quad (12b)$$

Laju massa (kg/det) diberikan dalam persamaan (13).

$$\dot{m} = \frac{\rho \cdot Fl}{60000} \quad (13)$$

Fl adalah laju alir air (liter/men), sementara ρ adalah densitas fluida air (kg/m^3) yang diberikan dalam persamaan (14) :

$$\begin{aligned} \rho = 1000.205 + 0.01928318 T_{avg-c} - 0.00610612 T_{avg-c}^2 \\ + 0.00001828 T_{avg-c}^3 - 0.0000000119633 T_{avg-c}^4 \end{aligned} \quad (14)$$

Kapasitas panas fluida (dalam satuan $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$) diberikan dalam persamaan (15):

$$\begin{aligned} C_p = 4216.956 - 3.47519 \cdot T_{avg-c} + 0.1218524 \cdot T_{avg-c}^2 - 0.00248039 \cdot T_{avg-c}^3 \\ + 2.246634 \times 10^5 T_{avg-c}^4 - 1.20792 \times 10^7 T_{avg-c}^5 + 2.711372 \times 10^{10} T_{avg-c}^6 \end{aligned} \quad (15)$$

T_{avg-c} adalah rata-rata $T_{coll-in}$ dan $T_{coll-out}$, sedangkan dT adalah selisih $T_{coll-out}$ dan $T_{coll-in}$. Densitas ρ dan C_p air panas dihitung berdasarkan harga T_{avg-c} tersebut.

Besaran Ω adalah besaran yang didefinisikan sebagai $(T_{coll-in} - T_{amb})/I_o$, yang akan digunakan untuk menentukan parameter rugi-rugi termal kolektor. Hal ini akan dibahas kemudian.

Disepakati bahwa perhitungan efisiensi kolektor dilakukan pada data yang diperoleh pada kondisi insolasi harian lebih besar dari 4 kWh/m^2 , sementara perhitungan rugi-rugi termal dilakukan pada data yang diperoleh pada insolasi sesaat diatas 500 W/m^2 .

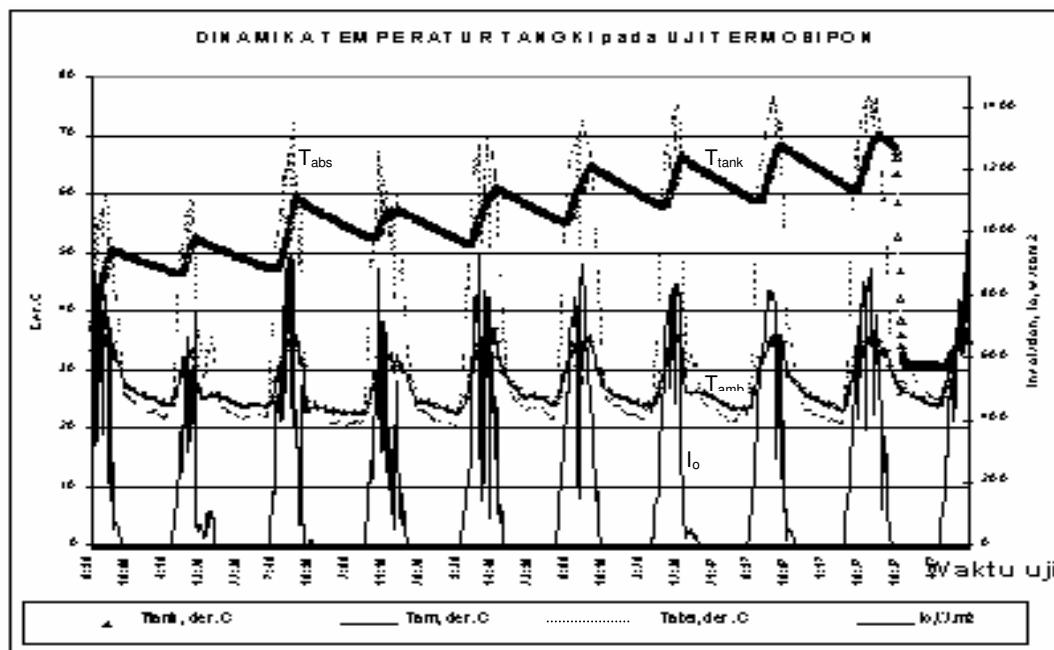
Hubungan η_s (disumbu y) terhadap $(T_{avg-c} - T_{amb})/I_o$ (disumbu x) untuk tiap sample berbentuk linier, persamaan $y = a - bx$, dimana b adalah $U_{lc} F_p$. Dengan memilih data-data radiasi yang melebihi 500 W/m^2 , dan mengumpulkannya dalam satu grafik hubungan linier η_s terhadap $(T_{avg-c} - T_{amb})/I_o$, maka koefisien rugi-rugi termal $U_{lc} F_p$ dapat ditentukan.

Radiasi yang masuk ke kolektor harus dalam keadaan tunak agar temperatur *inlet* dan laju aliran dapat dijaga pada harga yang relatif konstan.

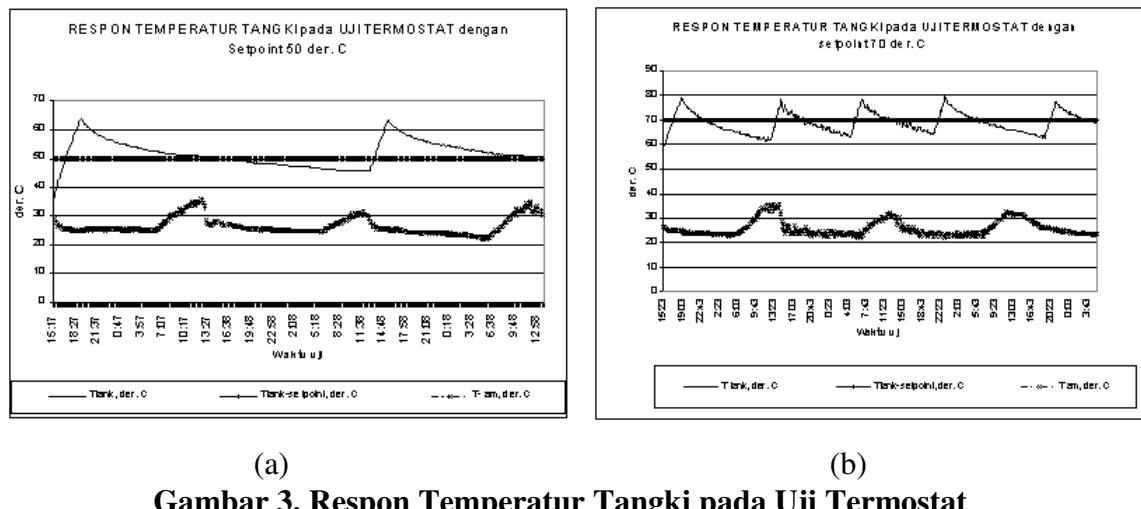
5. HASIL PENGUJIAN

5.1. Hasil Uji Thermosiphon.

Pengujian kemampuan tangki penyimpan panas dari uji termosifon dilihat dari persentansi temperatur maksimum dan minimum tangki diberikan pada Gambar 2. Sedangkan hasil pengujian respon temperatur tangki air panas dengan uji termostat pada *set-point* 50°C dan 70°C diberikan pada Gambar 3a dan Gambar 3b.



Gambar 2. Dinamika Temperatur Tangki Penyimpan



Gambar 3. Respon Temperatur Tangki pada Uji Termostat

Dari pengujian termosifon diperoleh harga persentasi penurunan temperatur tangki, yaitu : $(T_{\text{tank-maks}} - T_{\text{tank-min}})/T_{\text{tank-maks}}$ sebesar 10.4 %. Angka ini cukup besar.

Diharapkan faktor kehilangan panas ini dapat di bawah 10%.

Selama pengujian ini diperoleh temperatur absorber maksimum sebesar 78°C (temperatur tangki 71°C) dan radiasi surya maksimum sebesar 974 W/m² selama 8 hari pengukuran. Dengan persamaan (1) diperoleh harga koefisien rugi-rugi termal tangki rata-rata sebesar 0.77 W/m².K. Kerugian ini tidak melebihi harga standar yang ditetapkan dalam SNI, yaitu sebesar 1.75 W/m².K.

5.2. Hasil Uji Thermostat.

Pada pengujian termostat dengan *set-point* 50°C.

Temperatur yang di-set dicapai dalam waktu 2 jam dari temperatur awal 37°C. Terjadi *overshoot* hingga 62°C dan turun kembali hingga temperatur 45°C kemudian termostat menyala kembali. Waktu yang dibutuhkan dari temperatur 62°C ke 45°C adalah 17 jam.

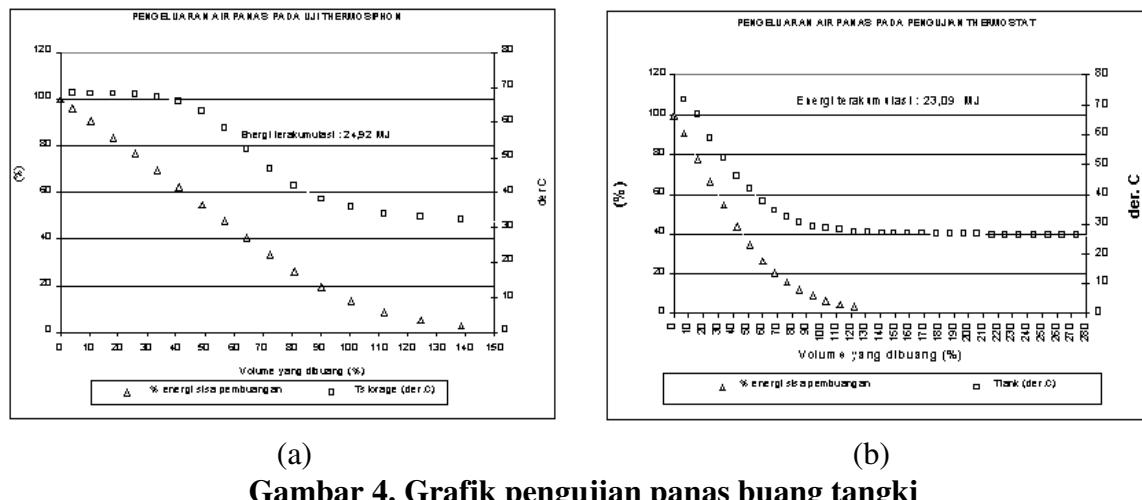
Pada pengujian respon termostat dengan *set-point* 70°C.

Temperatur mencapai set-point dalam waktu 2 jam dari temperatur awal 59°C. Terjadi overshoot hingga 78°C dalam waktu dua jam kemudian. Temperatur turun kembali ke 64°C kemudian termostat menyala kembali. Waktu yang dibutuhkan dari temperatur 78°C ke 64°C adalah 11 jam. Ditemukan bahwa semakin tinggi *set-point* semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk menyalakan thermostat yang terhubungkan dengan penyalaan pemanas listrik tambahan.

5.3. Hasil Uji Kolektor Surya.

Pengukuran kapasitas panas tangki dilakukan dengan membuang air dalam tangki dan menghitung panas yang terbuang, grafik penurunan temperatur ditunjukkan pada Gambar 4a untuk pengujian termosifon dan pada Gambar 4b pada pengujian termostat. Hasil perhitungan kapasitas panas tangki yang ditunjukkan di Gambar 4. diperoleh sekitar 25 MJ untuk uji termosifon dan 24 MJ untuk uji termostat.

Kemampuan menyimpan panas ini menentukan mutu dan kelas PATS, dalam hal ini diutamakan pada pengujian yang hanya memanfaatkan energi surya (tanpa pemanas listrik). Berdasarkan kemampuan menyerap dan meneruskan energi radiasi surya ke air per tahun, ada 4 kelompok PATS seperti diberikan dalam Tabel 2.



Gambar 4. Grafik pengujian panas buang tangki

Dari pengujian unjuk kerja yang dilakukan dengan pengeluaran air panas terus menerus (uji termosifon) diketahui rata-rata kemampuan menyerap dan meneruskan energi surya ke air per tahunnya adalah sekitar 9095.8 MJ (=24.92 MJ x 365 hari) atau 2,426.6 kWh. Dengan demikian PATS dapat dikelompokkan pada kelas IV.

Tabel 2. Klasifikasi PATS berdasarkan kapasitas panas (SNI 04-3021-1992)

Kelas	MJ	kWh
I	Lebih dari 14,000	Lebih dari 3,889
II	12,000 s/d 14,000	3,333 s/d 3,889
III	10,000 s/d 12,000	2,778 s/d 3,333
IV	8,000 s/d 10,000	2,222 s/d 2,778

Pengujian efisiensi kolektor ini dilakukan hingga diperoleh insolasi harian melebihi 4 kWh/m^2 . Percobaan akan terus dilanjutkan bila harga tersebut belum dicapai, tetapi pada pengujian hari ke 8 besaran tersebut diperoleh.

Perhitungan efisiensi kolektor dapat dilakukan berdasarkan perhitungan insolasi harian lebih dari 4 kWh/m^2 , sehingga yang dilibatkan hanya data pada hari ke-6, ke-7 dan ke-8.

Hasil perhitungan efisiensi kolektor tersebut dan harga rata-ratanya diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Efisiensi Kolektor

Hari ke-	Insolasi Harian (kWh/m ²)	Efisiensi Harian (%)
6	4.72	46.89
7	5.20	42.87
8	4.80	42.29
Efisiensi Rata-rata :		44.02 %

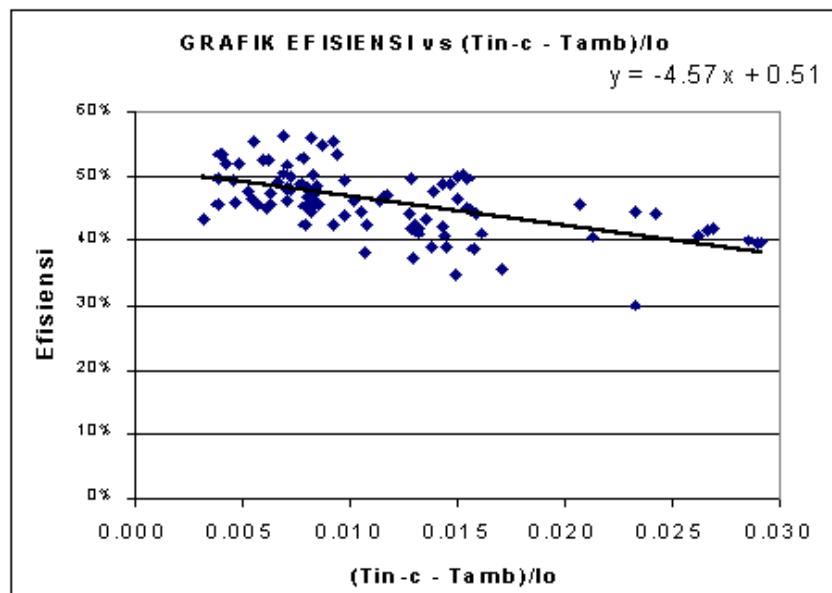
Pada perhitungan koefisien rugi-rugi termal dipilih data yang diperoleh pada insolasi sesaat diatas 500 W/m² dari seluruh pengukuran. Seluruh data efisiensi sesaat yang memenuhi syarat tersebut dikumpulkan lalu diplot terhadap harga $\frac{(T_{in,c} - T_{amb})}{I_o}$ pada sumbu x.

Persamaan linier yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung $U_{lc} F_p$.

Hasil pengukuran dan perhitungan diberikan pada grafik yang disajikan pada Gambar 5.

Perhitungan efisiensi kolektor mendapatkan harga rata-rata sekitar 44 %.

Persamaan linier antara efisiensi sesaat dan besaran $\frac{(T_{in,c} - T_{amb})}{I_o}$: $y = -4.57 x + 0.51$.

**Gambar 5. Perhitungan Rugi-rugi termal Kolektor.**

Bila diacukan ke persamaan (10) diperoleh harga koefisien rugi-rugi termal kolektor $U_{lc} F_p$ adalah 4.57, sementara harga $\tau \alpha F_p$ adalah 0.51. Persyaratan harga $U_{lc} F_p$ ini diacukan pada SNI 04-3021-1992, yaitu 7 W/m².K. Bila efisiensi absorber F_p diasumsikan 0.85, maka harga U_{lc} dapat ditentukan sebesar 5.3 W/m².K, artinya masih dibawah harga maksimum yang disyaratkan.

6. KESIMPULAN

Pengujian kapasitas panas PATS diacukan pada prosedur SNI 04-3021-1992 diperoleh sampel uji pada kelas IV, dengan kemampuan penyerapan panas 24.92 MJ perhari atau 9095.8 MJ pertahun. Respon termosifon menghasilkan temperatur tangki maksimum sekitar tengah hari dengan persentase penurunan temperatur tangki tersebut masih di atas 10%. Persentase penurunan temperatur tangki ini menunjukkan rugi-rugi termal tangki masih cukup besar.

Respon pemanas tambahan pada uji termostat menunjukkan temperatur *setting* diperoleh sekitar 2 jam pemanasan. Selalu terjadi *overshoot* sebesar 11 – 24 % dari nilai *setting* nya dan terjadi *dead-band* pada 4-5°C di bawah nilai *setting*-nya kemudian thermostat menyalah kembali.

Efisiensi kolektor surya merupakan satu bagian penting dalam sistem PATS, karena menentukan perolehan kalor yang mempengaruhi kinerja sistem keseluruhan. Hasil pengujian unit sampel di atas masih dapat dikategorikan baik, meski efisiensi rata-rata yang diperoleh dalam kisaran 50 – 60 %.

Pengujian kolektor surya menggunakan metode dinamis ini sebenarnya terdiri dari dua pendekatan, yaitu metode stasioner dan instasioner. Dalam pengujian ini digunakan metode stasioner, yaitu menggunakan persamaan (9) dan (10). Untuk wahana penelitian lanjutan, hasil ini perlu dibandingkan dengan pendekatan kedua, yaitu metoda instasioner menggunakan persamaan (9) dan (10) namun dikembangkan menjadi persamaan polinomial yang melibatkan besaran kapasitas panas dan sudut datang iradiasi.

Penyempurnaan metode pengujian termasuk melibatkan prosedur ANSI/ASHRAE dan melibatkan ketidakpastian pengukuran masih memungkinkan.

Prosedur SNI ini masih terbuka untuk dievaluasi dalam upaya meningkatkan kualitas produk pemanas air tenaga surya komersial yang andal dan memuaskan konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Standard (1986), *Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector*, ANSI/ASHRAE 93-1986.
- SNI 04-3021-1992, *Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Domestik Sistem Termosifon Langsung Dengan Pemanas Tambahan*, Jakarta, 1992.
- Ted J. Jansen (1995), *Teknologi Rekayasa Surya*, diterjemahkan oleh Wiranto Arismunandar, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
- Annonym (1993), *Manual for Dynamic Collector Test*, 1993.