

# **Penerapan Standar Mutu SNI 3021-1992 Edisi ke-1 (Satu) Dalam Prosedur Uji Kinerja Termal Sistem Pemanas Air Tenaga Surya (PATS)**

## ***Implementation of the Standard Quality of SNI 3021-1992 1st Edition in the System Thermal Performance Testing Procedure of Solar Water Heater (SWH)***

Noor Fachrizal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE) BPPT, Kawasan Puspiptek Gd. 620, Tangerang Selatan 15314

### **Abstrak**

Laboratorium Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya Balai Besar Teknologi Konversi Energi telah mampu melayani pengujian produk Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) komersial berdasarkan SNI 3021-1992 Edisi ke-1 (satu). Pengembangan prosedur uji perlu ditingkatkan agar melengkapi kemampuan menguji seluruh parameter yang ada dalam standar SNI. Prosedur pengujian kinerja sistem PATS terdeskripsi secara implisit dan tidak rinci dalam bentuk tabel dan rumus-rumus, sehingga perlu dirinci untuk diimplementasikan dalam pengujian. Mengadopsi prosedur termosifon pada SNI, dengan perhitungan kalor perolehan harian, disusun sebuah prosedur baru yang dapat menghasilkan parameter efisiensi harian sistem, yang dapat digunakan untuk memestimasi perolehan kalor tahunan PATS, klasifikasi produk PATS, dan fraksi matahari. Hasil ujicoba prosedur ini pada unit PATS kapasitas 150 liter dan luasan kolektor 1.97 m<sup>2</sup> selama 19 hari, diperoleh efisiensi harian dalam rentang 39,13% hingga 47,61% dalam radiasi harian antara 3.66 – 6.82 kwh/m<sup>2</sup>, estimasi kalor perolehan tahunan 1370,87 kWh, fraksi matahari 75%, dan estimasi perolehan kalor tahunan klasifikasi 2783.49 kWh, menempatkan di kelas III berdasarkan standar mutu SNI.

**Kata Kunci :** Pemanas air tenaga surya, prosedur uji, efisiensi sistem, fraksi matahari

### **Abstract**

The solar water heater (SWH) testing laboratory has been able to serve commercial product testing based on SNI 3021-1992 1<sup>st</sup> Edition. Development of test procedures needs to be improved in order to complement the ability to test all parameters contained in the SNI standard. The SWH system performance testing procedure is implicitly described and undetailed in the form of tables and formulas, so that it needs to be detailed to be implemented in the test. Adopting the SNI thermosiphon procedure, by calculating the daily heat gain, this new arranged procedure that can produce SWH daily efficiency parameters, which can be used to predict the annual SWH heat gain, PATS product classification, and solar fraction. The results of testing this procedure on a SWH unit with a capacity of 150 liters and a collector area of 1.97 m<sup>2</sup> for 19 days, obtained daily efficiency in the range of 39.13% to 47.61% in daily radiation between 3.66 - 6.82 kwh/m<sup>2</sup>, prediction of annual heat gain of 1370, 87 kWh, 75% solar fraction, and prediction of annual heat gain classification of 2783.49 kWh, placing this tested specimen in class III based on SNI quality standards.

**Keywords:** Solar water heater, testing procedure, system efficiency, solar fraction

---

\*Penulis Korespondensi. Telp: +62 21 7560092; fax: +62 21 7560904  
Alamat E-mail: n.fachri.z@gmail.com

## 1. Pendahuluan

Kualitas produk Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) bergantung salah satunya pada kinerja termal sistem yaitu kemampuan menyerap panas komponen kolektor termal surya dan kemampuan menyimpan panas komponen tangki air. Rugi-rugi termal kedua komponen tersebut berkontribusi pada parameter termal PATS.

Uji mutu produk PATS sudah memiliki standar mutu yang diacukan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 3021-1992 Edisi ke-1 (satu). Pengujian kinerja termal PATS di dalam naskah SNI memuat dua prosedur utama yaitu pengujian kinerja, berupa uji termosifon serta uji pemanas tambahan, dan pengujian keandalan kolektor dan sistem PATS.

Sementara itu, pengujian kinerja termal kolektor dan kinerja termal sistem PATS hanya terdeskripsikan dalam persyaratan mutu dan formula-formula perhitungannya, namun tak tedeskripsi prosedur lengkapnya. Untuk mengimplementasikan rumus-rumus perhitungan dan parameter-parameter standar mutu dalam SNI ini, dalam pengujian selama ini, prosedur pengujian kinerja kolektor surya SNI sudah mengadopsi beberapa prosedur yang dikembangkan oleh Perers [1], dan ISO 9806-1 [2], yang relevan dengan standar mutu dalam naskah SNI, dan sudah dilakukan dalam setiap pengujian di Laboratorium Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya (LPPATS) Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE) sejak 1990. Pengalaman penerapan ISO 9806-1 pada pengujian kolektor pelat datar untuk wilayah ekuator sudah dilakukan diantaranya oleh Amrizal dan Amrul [3].

Prosedur uji kinerja termal sistem PATS, meliputi kinerja kolektor dan tanki secara keseluruhan, juga tidak terdeskripsikan secara lengkap dan rinci dalam SNI, namun standar mutu seperti fraksi matahari, serta rumus untuk mengestimasi kalor perolehan tahunan berdasarkan sebaran efisiensi termal harian sistem PATS, dan tabel klasifikasi produk PATS, terdapat dalam naskah SNI. Karena itu, pengujian untuk mendapatkan parameter-parameter kinerja termal sistem tersebut belum pernah dilakukan sebelumnya dalam pengujian di Laboratorium Pengujian PATS di B2TKE yang berdasarkan SNI ini. Karena belum adanya prosedur rinci pengujian kinerja termal sistem PATS ini di SNI, maka kebutuhan untuk merumuskan prosedur uji ini secara rinci menjadi penting untuk diperoleh agar pelayanan pengujian produk-produk PATS akan semakin lengkap parameter-parameter mutunya.

Sementara itu di dalam SNI pada uji termosifon terdapat prosedur uji untuk

menghitung perolehan energi stagnasi akumulatif. Sebagian prosedur ini dapat digunakan dan dimodifikasi untuk mensintesa tahapan prosedur pengujian kinerja sistem secara rinci dan merancang metode penghitungan kinerja harian sistem PATS berdasarkan rumus dan standar mutu yang tersedia. Selain itu, prosedur uji sistem dari ISO 9459 – 2 [4] dapat menjadi bahan rujukan tambahan sebagai pembandingan untuk dipelajari, metode ini juga dibahas dan dirinci oleh Exergia [5] baik ISO 9801-1 untuk kolektor maupun ISO 9459-2 untuk sistem PATS. Pengujian kinerja sistem PATS menggunakan prosedur ISO 9459-2 ini sudah dilakukan oleh banyak peneliti di antaranya Carvalho dan Naron [6], Bestenlehner et al [7], dan He Tao et al [8].

Makalah ini memaparkan hasil penyusunan prosedur rinci uji kinerja termal sistem PATS dari memodifikasi prosedur pengujian termosifon, dan hasil ujicoba prosedur tersebut untuk mendapatkan parameter-parameter uji kinerja yang terdapat dalam SNI 3021-1992 Edisi ke-1 (satu). Ujicoba prosedur ini diimplementasikan dengan menguji kinerja produk PATS kapasitas tanki 150 liter dengan sebuah kolektor pelat datar luasan 1.97 m<sup>2</sup>. Dengan adanya prosedur rinci dan lengkap, uji kinerja sistem PATS ini dapat dilakukan, sehingga rumus-rumus dan standar mutu yang tertera dalam SNI dapat digunakan untuk menghitung efisiensi termal harian sistem, estimasi perolehan energi tahunan, klasifikasi PATS dan fraksi matahari. Diharapkan, dengan diperolehnya prosedur ini akan semakin melengkapi parameter uji SNI dan meningkatkan kualitas pengujian pemanas air tenaga surya pada Laboratorium Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya yang terdapat di B2TKE BPPT di kawasan Puspiptek Tangerang Selatan.

## 2. Dasar Teori

Pengembangan prosedur rinci dan metode penghitungan serta pengujian sistem ini ditujukan untuk mendapatkan parameter kinerja termal sistem PATS, yaitu efisiensi termal harian sistem, estimasi jumlah energi tahunan, klasifikasi PATS dan fraksi matahari. Efisiensi harian sistem harus diperoleh untuk dapat menghitung parameter-parameter kinerja sistem PATS yang lain.

Efisiensi termal harian PATS merupakan perbandingan antara panas matahari yang dapat dikumpulkan oleh kolektor yang tersimpan dalam tanki PATS dan jumlah energi radiasi matahari yang datang ke permukaan kolektornya selama seharian dari pagi sampai sore hari. Efisiensi termal harian sistem  $\eta_d$  diperoleh dari persamaan [9]:

$$\eta_d = \frac{Q_{loss-d}}{Q_{IR-d}} = \frac{\sum_{i=1}^k [\dot{m}_i \times C_p \times \Delta T_i \times 600]}{\sum_{i=1}^k [I_{ctot-i} \times A_c \times 600]} \quad (1)$$

Di mana

$Q_{loss-d}$  : energi tersimpan dalam tanki harian (Joule) yang diperoleh dari kolektor

$Q_{IR-d}$  : energi radiasi harian (Joule) yang datang ke kolektor

$I_{ctot}$  : radiasi surya sesaat Watt/m<sup>2</sup>

$\dot{m}$  : laju massa aliran air panas yang dibuang sore hingga malam hari (kg/det) [9]

$C_p$  : kalor jenis air sesaat J/kg°C [9]

$\Delta T$  : selisih temperatur sesaat air panas keluar sistem PATS  $T_{sto}$  dan temperatur air masuk sistem  $T_{c-in}$  dalam °C

$A_c$  : luasan efektif kolektor, m<sup>2</sup>.

$k$  : jumlah data proses pembuangan air panas harian.

$i$  : urutan data setiap 10 menit

600 : jumlah detik dalam 10 menit.

Perhitungan radiasi harian  $Q_{IR-d}$  ini diambil pada data dari pagi hari hingga dilakukan pembuangan air panas sore hari. Sedangkan penghitungan panas terkumpul dalam tanki  $Q_{loss-d}$  dilakukan pada saat pembuangan air panas sore hari hingga malam hari.

Sementara itu, estimasi perolehan kalor tahunan  $Q_{sT}$  unit PATS dapat dihitung [10]:

$$Q_{sT} = A_c (8 \times 1 \times \bar{\eta}_{d1} + 24 \times 2 \times \bar{\eta}_{d2} + 58 \times 3 \times \bar{\eta}_{d3} + 105 \times 4 \times \bar{\eta}_{d4} + 106 \times 5 \times \bar{\eta}_{d5} + 58 \times 6 \times \bar{\eta}_{d6} + 6 \times 7 \times \bar{\eta}_{d7}) \quad (2)$$

$Q_{sT}$  adalah estimasi jumlah energi tahunan yang dapat diperoleh PATS (dalam kWh), variabel  $\bar{\eta}_{d1}, \bar{\eta}_{d2}, \dots, \bar{\eta}_{d7}$  adalah efisiensi PATS rata-rata pada insolasi harian sebesar  $Q_{IR-d} = 1,2, \dots, 7$  kWh/m<sup>2</sup>. Konstanta 8, 24, 58, 105, 106, 58, dan 6 adalah referensi distribusi jumlah hari untuk masing-masing radiasi surya harian Jakarta dan sekitarnya pada  $Q_{IR-d} = 1,2, \dots, 7$  kWh/m<sup>2</sup> dalam setahun [10].  $A_c$  adalah luas efektif kolektor, m<sup>2</sup>.

Karena persamaan (2) membutuhkan data efisiensi termal harian sistem dalam berbagai nilai radiasi harian, maka pengujian ini harus dilakukan berulang kali sehingga diharapkan diperoleh sebaran data efisiensi termal harian persamaan (1) dalam berbagai kondisi cuaca.

Fraksi matahari spesimen uji PATS dapat dihitung dari perhitungan estimasi perolehan kalor tahunan ini dengan asumsi penggunaan air panas oleh orang dewasa dapat dianggap 45 liter pada 60 °C per hari, karena asumsi air potable

dalam unit PATS dari temperatur awal 30 °C [10], maka kebutuhan air panas tiap orang dewasa dapat dihitung dalam setahun.

Energi matahari yang terserap oleh absorber dan dipakai untuk memanaskan air, minimal harus berjumlah 65% dari kebutuhan energi pemanasan total [10], sisanya diperoleh dari sumber energi lain. Dengan asumsi kebutuhan air panas tersebut, maka kebutuhan air panas tiap orang dewasa per hari adalah 5.55 MJ sehingga kebutuhan air panas per orang  $Q_{nT} = 2,026.19$  MJ per tahun (562.83 kWh per tahun/orang). Jika volume tangki adalah  $C_i$  (lt), maka fraksi matahari  $S_F$  adalah :

$$S_F = \frac{45 \cdot Q_{sT}}{C_i \cdot Q_{nT}} = \frac{Q_{sT}}{12.51 \cdot C_i} \quad (3)$$

Dengan  $Q_{sT}$  dalam kWh dan  $C_i$  dalam liter.

Sementara itu kalor perolehan per tahun untuk klasifikasi PATS dapat ditentukan dari estimasi perolehan kalor tahunan klasifikasi  $Q_{sT-k}$  dengan mengganti luasan kolektor  $A_c$  pada persamaan (2) dengan 4 m<sup>2</sup>[10], klasifikasi PATS dapat ditentukan oleh tabel 1.

**Tabel 1.** Klasifikasi PATS [10]

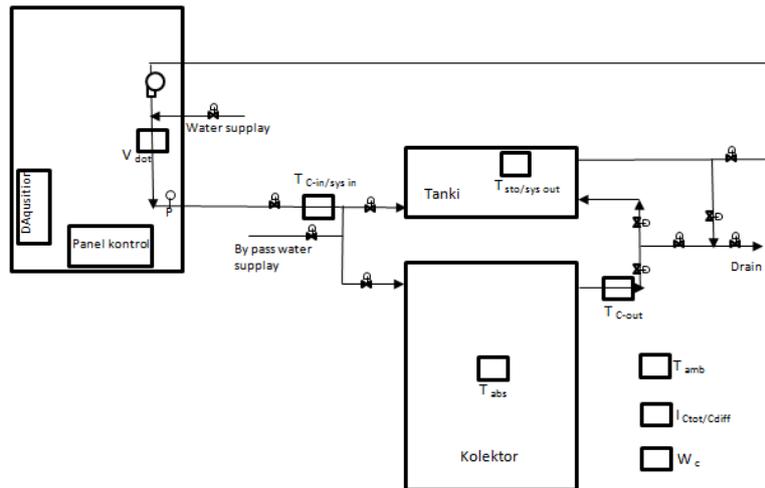
Kelas	$Q_{sT-k}$	
	MJ	KWh
I	Lebih dari 14,000	Lebih dari 3,889
II	12,000 s/d 14,000	3,333 s/d 3,889
III	10,000 s/d 12,000	2,778 s/d 3,333
IV	8,000 s/d 10,000	2,222 s/d 2,778

### 3. Bahan dan Metode

#### Peralatan dan bahan

Konfigurasi alat uji mutu produk PATS diberikan dalam skema pada gambar 1. Sesuai spesifikasi dari produsen untuk wilayah Indonesia, kolektor diletakkan pada kemiringan 15° ke arah utara. *Rig* uji *outdoor* dan spesimen uji PATS, serta ruang kendali dan observasi data dapat dilihat pada gambar 2.

Sarana uji ini diperuntukkan melayani pengujian mutu produk PATS komersial maupun prototipe hasil riset, merupakan fasilitas pengujian luar ruangan (*outdoor*) dengan menggunakan radiasi matahari alami. Fasilitas uji ini memiliki sebuah ruang kendali dan sebuah *rig* uji di luar ruangan (*outdoor*) untuk meletakkan spesimen uji, yang bebas dari penghalang datangnya cahaya matahari pada spesimen uji, yang dilengkapi dengan sensor-sensor pengukuran, yang terhubung dengan sistem akuisisi data yang merekam secara otomatis semua data selama pengujian dari dalam ruang kendali.



Gambar 1. Skema Penguji PATS



Gambar 2. Rig uji dan ruang kendali

Data-data penguji ini diambil melalui 6 sensor yang mengukur proses penguji yang direkam setiap 10 menit, yang akan diobservasi dan dianalisa, diberikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data-data yang diukur

No	Parameter	Deskripsi
1	$T_{amb}$	Temperatur lingkungan ( $^{\circ}C$ )
2	$T_{c-in}$	Temperatur inlet kolektor ( $^{\circ}C$ )
3	$T_{c-out}$	Temperatur outlet kolektor ( $^{\circ}C$ )
4	$V_{dot}$	Laju air kolektor (lt/men)
5	$I_{tot}$	Radiasi total Watt/ $m^2$
6	$T_{sto}$	Temperatur tangki/ keluar sistem ( $^{\circ}C$ )

### Metodologi

Penguji kinerja termal sistem ini pada prinsipnya mengadopsi sebagian prosedur penguji termosifon dalam SNI, yang pada dasarnya untuk menguji karakteristik termal tanki penyimpanan air panas pada sistem PATS.

Prosedur uji termosifon yang terdeskripsi dalam naskah SNI intisarinya adalah sebagai berikut :

“Sistem PATS diisi air penuh pada sore hari, sistem dioperasikan setidaknya selama 120 jam sehingga dicapai temperatur maksimum tangki lebih dari  $70^{\circ}C$ , lalu air panas dibuang pada sore

hari pada hari terakhir penguji, dengan laju minimal 1 liter/menit dan sebesar-besarnya sama dengan kapasitas tangki penyimpanan dibagi dua jam.”

Prosedur ini yang akan digunakan di mana proses akan dimulai dengan pengisian air dingin setiap pagi dan diselesaikan dengan pembuangan air panas setiap sore hari, tanpa harus temperatur tangki mencapai  $70^{\circ}C$ , diulangi hingga diperoleh berbagai efisiensi harian dari perhitungan persamaan (1) dalam berbagai nilai radiasi harian.

Inti dari penelitian ini adalah mensintesa prosedur penguji kinerja termal sistem PATS. Dengan mempelajari pemakaian rumus (2), klasifikasi PATS pada tabel 1, asumsi kebutuhan air panas orang dewasa per hari, dan standar mutu fraksi matahari PATS pada SNI [10], dan dengan mempelajari rujukan lain [4, 5, 6], agar modifikasi terhadap prosedur termosifon dapat dilakukan untuk menyusun sebuah prosedur baru yang dihipotesiskan dapat digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter kinerja sistem yang terdapat di SNI tersebut, di mana prosedur tersebut tidak terinci beserta keterkaitannya dengan rumus-rumus dan standar-standar mutu yang tersedia dalam SNI. Hasil sintesa prosedur ini harus diujicoba pada spesimen uji untuk membuktikan semua parameter standar mutu dalam SNI dapat diperoleh menggunakan persamaan (1), persamaan (2) dan persamaan (3) dan dapat dikaji hasilnya.

### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil sintesa prosedur penguji kinerja termal sistem PATS yang diusulkan tersebut adalah sebagai berikut :

- 1) Pada pagi hari (sebelum jam 6 pagi) sebelum penguji dimulai, air dingin dialirkan ke seluruh sistem untuk mengkondisikan keadaan awal sistem. Kemudian setelah

- seluruh sistem PATS terisi air, katup suplai air ditutup.
- 2) Semua saluran dari kolektor menuju tanki penyimpan harus terbuka supaya proses termosifon dapat berlangsung saat kolektor menerima radiasi matahari, sehingga kolektor dan tanki dapat menerima dan menyimpan panas dari matahari sejak pagi hingga sore hari. Pada sore/malam hari keran air suplai dan keran pengeluaran air dibuka penuh sepanjang malam, dengan laju aliran air diatur sekurang-kurangnya 1 liter/menit dan sebesar-besarnya sama dengan kapasitas tangki penyimpan dibagi dua jam. Pengujian pembuangan air panas ini dianggap berakhir jika beda temperatur air masuk PATS dan keluar sistem PATS kurang dari 3°C [10].
  - 3) Variabel yang diukur dalam pengujian ini pada pagi hingga sore hari sebelum pembuangan air panas adalah temperatur air jalur masuk kolektor/tanki  $T_{c-in}$ , temperatur air tanki/keluaran sistem  $T_{sto}$ , temperatur air pada keluaran kolektor  $T_{c-out}$ , temperatur lingkungan  $T_{amb}$ , dan radiasi surya  $I_{ctot}$ . Sedangkan pada proses pembuangan air panas sore atau malam hari diukur juga laju aliran air  $V_{dot}$ . Seluruh data diukur selama 24 jam.
  - 4) Prosedur termosifon ini diulangi lagi, dengan pengisian air dingin hingga kolektor dan tanki penuh dilakukan setiap esok pagi hari berikutnya. Pengujian dilanjutkan hari kedua. Prosedur pengujian ini diulangi setiap hari hingga diperoleh data pengujian untuk menghitung efisiensi harian  $\eta_d$  dengan berbagai variasi radiasi harian, yang diharapkan mewakili pengujian pada kondisi radiasi harian mulai dari 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7  $kWh/m^2$ , setidaknya 14 hari, namun jika variasi sebaran data dengan radiasi harian yang dibutuhkan belum diperoleh, pengujian dapat dilanjutkan dengan menambah hari pengujian.
  - 5) Perhitungan terhadap data-data pengujian harian dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter uji efisiensi harian sistem  $\eta_d$  persamaan (1). Pengolahan data pengujian termosifon harian dilakukan pada data mulai pagi hari hingga operasi pembuangan panas pada sore/malam hari, di mana data pagi hingga sore hari untuk mendapatkan perhitungan radiasi harian dan data pembuangan air panas sore hari hingga malam untuk mendapatkan data perolehan panas terkumpul dalam tanki penyimpan selama seharian tersebut. Pengujian dilakukan sehingga diperoleh efisiensi sistem PATS harian pada berbagai rentang radiasi harian dari 1 hingga 7  $kWh/m^2$ /hari,

- pengujian ini membutuhkan banyak data harian yang tersebar dalam rentang radiasi harian tersebut.
- 6) Setelah diperoleh hasil sebaran efisiensi termal harian yang sudah dianggap mewakili berbagai harga radiasi harian, data-data efisiensi harian  $\eta_d$  ini diplot dalam grafik terhadap radiasi hariannya  $Q_{IR-d}$ , untuk mendapatkan persamaan linier [10] yang dapat digunakan untuk menghitung estimasi jumlah energi tahunan, klasifikasi PATS dan fraksi matahari, menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3)

Pengimplementasian prosedur ini pada pengujian spesimen uji telah dilakukan selama 19 hari, efisiensi harian dihitung dengan persamaan (1), dengan hasil perhitungan diberikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian efisiensi harian sistem

Hari ke	Radiasi harian ( $kWh/m^2$ )	Efisiensi harian (%)
1	4.85	47.61
2	6.82	39.13
3	5.84	44.05
4	4.93	44.69
5	4.37	43.35
6	4.42	45.70
7	3.83	44.65
8	5.08	44.65
9	5.11	44.29
10	5.82	44.52
11	4.07	43.06
12	5.36	43.36
13	3.71	47.22
14	3.78	44.26
15	3.84	44.85
16	5.39	45.06
17	3.66	41.83
18	5.19	43.12
19	5.28	43.96
		min maks
Rentang radiasi harian ( $kWh/m^2$ )	3.66	6.82
Rentang efisiensi harian, %	39.13	47.61
Rata-rata Efisiensi harian (%)	44.17	

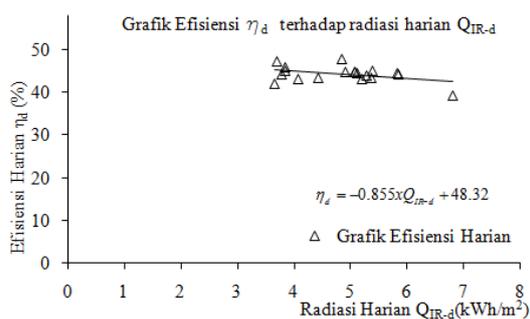
Efisiensi termal harian sistem PATS yang diperoleh berada dalam rentang 39,13% hingga 47,61%, dalam kondisi radiasi harian antara 3.66 – 6.82  $kWh/m^2$ . Rentang efisiensi ini masih di bawah nilai efisiensi sistem PATS harian 53,8-55,9% hasil penelitian yang dilakukan oleh Yeh HM et al [11], dan penelitian Nshimyumuremyi dan Wang [12] yang berkisar 55.35 – 63.72%,

namun hasil ini lebih baik dari hasil pengujian oleh Ayompe dan Duffy [13] yang menghasilkan efisiensi sistem 37.8%.

Pengujian efisiensi harian sistem untuk memperoleh data efisiensi rata-rata disekitar radiasi harian 1 hingga dan 7 kwh/m<sup>2</sup> untuk menghitung estimasi perolehan kalor tahunan dengan persamaan (2), akan membutuhkan waktu pengujian yang lama, karena tidak mudah mendapatkan data efisiensi dalam radiasi harian rendah sekali sekitar 1 dan tinggi sekali sekitar 7 kwh/m<sup>2</sup>, bergantung pada kondisi cuaca dan musim, karena fasilitas uji ini lakukan *outdoor* yang menggunakan radiasi matahari alami.

Sebaran radiasi yang diperoleh antara 3.66 – 6.82 kwh/m<sup>2</sup> ini tidak mewakili seluruh rentang radiasi harian yang diharapkan oleh persamaan (2) karena pengujian pada rentang radiasi harian rendah tak dapat diperoleh, karena pengujian ini dilaksanakan pada musim panas. Namun melihat distribusi jumlah hari kejadian di mana radiasi harian Jakarta dan sekitarnya dalam setahun yang dominan pada rentang 3 – 6 kwh/m<sup>2</sup> [10], yang ditunjukkan oleh besarnya bobot konstanta persamaan (2) pada rentang tersebut, maka sebaran data ini sudah memadai.

Karena itu, semua sebaran data efisiensi harian yang diperoleh dalam berbagai nilai radiasi harian tersebut dapat diplot dalam grafik antara  $\eta_d$  terhadap  $Q_{IR-d}$  untuk mendapatkan persamaan linernya. Hasil plot diberikan pada gambar 3. Dengan melakukan interpolasi dan ekstrapolasi menggunakan persamaan linier yang diperoleh, jumlah data harian yang terkumpul ini memadai untuk mengestimasi parameter-parameter kinerja yang dibutuhkan.



**Gambar 3.** Sebaran efisiensi harian sistem.

Dari hasil plot pada gambar 3 tersebut dapat diperoleh persamaan linier :

$$\eta_d = -0.855xQ_{IR-d} + 48.32 \quad (4)$$

Dari persamaan (4) yang diperoleh dari hasil plot gambar 3 ini dapat dilihat bahwa variabel efisiensi termal harian  $\eta_d$  cenderung menurun dengan kenaikan jumlah radiasi harian

$Q_{IR-d}$ . Karakteristik termal ini sudah menjadi pengetahuan umum peneliti dan penguji kolektor surya dan PATS, semakin tingginya radiasi surya akan menaikkan temperatur kerja kolektor, di mana semakin tinggi temperatur kerja kolektor akan semakin besar rugi-rugi termal sistem PATS dan kolektor [1, 2, 3, 14, 15, 16, 17], akibat insulasi yang umumnya menurun kemampuannya dengan naiknya temperatur kerja [18, 19]. Beberapa desain kolektor pelat datar berhasil mendapatkan temperatur stagnasi tinggi dengan desain teknis tertentu dan insulasi yang berkualitas tinggi [20, 21].

Dengan persamaan linier tersebut dapat dihitung efisiensi harian sistem tepat pada harga radiasi 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 kwh/m<sup>2</sup>. Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3), hasil estimasi kalor perolehan tahunan, kalor perolehan klasifikasi, dan fraksi matahari PATS dapat dihitung.

Estimasi kalor perolehan pertahun PATS dari persamaan (2) dengan luasan kolektor uji 1,97m<sup>2</sup> diperoleh sebesar 1370,87 kWh. Dari estimasi perolehan kalor tahunan tersebut, dengan memasukkan hasil perhitungannya pada persamaan (3), dengan kapasitas tanki spesimen uji 150 liter, diperoleh fraksi matahari 75%, sudah memenuhi standar mutu SNI minimal 65%. Hasil ini sudah memadai jika dibandingkan hasil pengujian yang dilakukan oleh Bestenlehner et al [22], fraksi matahari yang diperoleh berkisar antara 45 – 89%. Hasil ini juga hampir setara dengan pengujian oleh Rosli et al [15] yang menghasilkan fraksi matahari tahunan sebesar 78.82%. Hasil pengujian ini masih lebih baik dari pengujian yang dilakukan Ayompe dan Duffy [13] yang menghasilkan fraksi matahari 32.2%.

Demikian juga klasifikasi PATS dapat diperoleh mengacu Tabel 1 sesuai ketentuan SNI dengan mengganti luasan kolektor  $A_c$  dengan 4 m<sup>2</sup> pada persamaan (2). Diperoleh estimasi perolehan kalor tahunan klasifikasi  $Q_{ST-k}$  sebesar 2783.49 kWh per tahun, menempatkan spesimen PATS pada kelas III.

Hasil perhitungan estimasi kalor perolehan tahunan, kalor perolehan klasifikasi, dan fraksi matahari terhadap pengujian spesimen PATS ditabulasi pada tabel 4.

**Tabel 4.** Klasifikasi PATS dan Fraksi Matahari

Parameter	Hasil
Estimasi kalor perolehan setahun (kwh) $Q_{ST} =$	1370.87
Fraksi matahari $S_F =$	0.75
Estimasi kalor perolehan klasifikasi (kwh) :	$Q_{ST-k} =$ 2783.49
	Kelas III
	PATS

Dengan prosedur baru yang disusun lebih rinci dengan memodifikasi prosedur termosifon dalam SNI, yaitu dengan proses pembuangan panas dilakukan setiap sore hari, pengujian untuk mendapatkan parameter kinerja termal sistem dapat dilakukan, sehingga perhitungan parameter efisiensi sistem harian, estimasi kalor perolehan tahunan, estimasi kalor perolehan tahunan klasifikasi PATS, dan parameter fraksi matahari dapat diperoleh. Hasil ini melengkapi perolehan parameter-parameter uji yang ditetapkan dalam aturan SNI 3021-1992 Edisi ke-1 (satu).

## 5. Kesimpulan

Prosedur pengujian kinerja termal sistem PATS yang lengkap dan lebih rinci telah dapat diperoleh dan dapat diimplementasikan, relevan dengan formulasi-formulasi yang terdeskripsi dalam naskah SNI serta standar mutunya. Prosedur ini dapat melengkapi prosedur uji pada fasilitas uji pemanasan air tenaga surya yang telah diremajakan dan mulai beroperasi melayani pengujian modul-modul kolektor surya termal dan pemanas air tenaga surya komersial maupun hasil riset sejak 2014 lalu, dan dapat melengkapi dokumen-dokumen yang dibutuhkan untuk akreditasi laboratorium uji ini.

Hasil pengujian efisiensi sistem spesimen PATS yang diperoleh ada dalam rentang 39,13% hingga 47,61%, di dalam rentang radiasi harian antara 3.66 – 6.82 kWh/m<sup>2</sup>. Dari hasil ini kalor perolehan tahunan dapat diestimasi sebesar 1370,87 kWh, dan dengan kalor ini dapat dihitung fraksi matahari sebesar 75%, melampaui standar minimal yang ditetapkan SNI yaitu 65%, menunjukkan kualitas spesimen uji sudah cukup baik. Dan dengan mengganti luasan kolektor dengan 4 m<sup>2</sup>, estimasi perolehan kalor tahunan klasifikasi diperoleh 2783.49 kWh, menempatkan sampel uji ini di kelas III berdasarkan tabel standar SNI. Kesulitan yang dihadapi adalah mendapatkan data efisiensi sistem PATS yang menyebar dalam rentang antara 1 – 7 kWh/m<sup>2</sup>, karena pengujian bergantung pada kondisi cuaca, namun dengan menggunakan cara interpolasi dan ekstrapolasi, estimasi parameter-parameter tahunan dapat diprediksi.

Prosedur ini akan digunakan selanjutnya sebagai instruksi kerja pada setiap pengujian di fasilitas uji yang ada di Laboratorium Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya B2TKE. Jika sudah teruji dengan pengujian pada lebih banyak sampel, dengan berjalannya waktu pengoperasian fasilitas uji ini dalam melayani pengujian produk-produk komersial dari produsen PATS, prosedur yang lebih rinci ini dapat diusulkan untuk melengkapi naskah SNI 3021-1992 Edisi ke-1 (satu) bersama-sama

dengan prosedur uji kinerja kolektor surya yang telah diadopsi, dimodifikasi, dan digunakan lebih dahulu, jika suatu saat akan diadakan revisi naskah SNI tersebut.

## Daftar Pustaka

- [1] Perers B., Karlsson B., Walleun H.; Simulation and evaluation methods for solar energy system, application for new collector design at high latitude, *Studsvik Report ED-90/4*, Nyköping (Schweden), 1990.
- [2] [ISO 9806-1. 1994], Test methods for solar collectors. Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop, 2013.
- [3] Amrizal, Amrul, Penerapan ISO 9806-1 dalam pengujian unjuk kerja termal kolektor surya pada kawasan ekuator, *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Nov 2015.
- [4] [ISO 9459-2 : 1995], Domestic water heating System, Part 2 : Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems.
- [5] [Exergia], Basic european and international standards on solar thermal glazed collectors and solar domestic water heater systems, European commission Directorate General for Energy and Transport, Athens, 2004.
- [6] Carvalho M.J, and Naron D.J, Final Report WP2: Comparison with CSTG test Methods, INETI, Portugal, 1999.
- [7] Bestenlehner D., Harald D., Müller-Steinhagen H., Qually D., Deist K., van Hoeve C., Experiences with mobile, stand alone test facility for solar thermal collectors and systems, *6th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, HEFAT2008, Pretoria, 2008.
- [8] He Tao, Zhang Lei, Deng Yu, Huang Zhulian, Wang Xuan, Wang Min, Zhang Xinyu, Zheng Ruicheng, Test method and compact facility for thermal performance and energy efficiency grades of compact solar water heaters, *Energy Procedia* 30, 1365 – 1371, Elsevier, 2012.
- [9] [ASHRAE Standard], Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector, ANSI/ASHRAE 93-1986.
- [10] [BSN], SNI. 3021-1992 Edisi ke-1 (satu), Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Domestik Sistem Termosifon Langsung Dengan Pemanas Tambahan, Jakarta, 1992.
- [11] Yeh H.M, Chen L.C., 'A study on thermosiphon solar water heater with

- parallel flat plate collector', *Energy*, Vol.1, No.6, pp.579-588, 1986.
- [12] Nshimyumuremyi, E., and Wang J., Thermal efficiency and cost analysis of solar waterheater made in Rwanda, *Energy Exploration & Exploitation, Sage Journal* Vol. 37(3) 1147–1161, 2019.
- [13] Ayompe, L.M. and Duffy A., Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate, *Applied Thermal Engineering* 58; 447-454, 2013.
- [14] Setyawan, E.Y., Kurniawan A., Rahmadianto F., Napitupulu R.A.M , Siagian P., Flat Plate Type Solar Collector Performance Using Double Thermal Insulation, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 852, 2nd TICATE, IOP Publishing, 2019.
- [15] Rosli , M.A.M., Zaki D.S.M, Rahman F.A., Sepeai S., Hamid N.A., Nawam M.Z., F-Chart Method for Design Domestic Hot Water Heating System in Ayer Keroh Melaka, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* Volume 56, Issue 1, 59-67, 2019
- [16] Jaisangkar S., Ananth J., Thulasi S., Jayasuthakar S.T., Sheeba K.N., "A comprehensive review on solar water heaters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.15, pp.3045-3050, 2011.
- [17] Duffie J.A. , Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, . 4<sup>th</sup> ed. USA : John Wiley & Sons, Inc, hal 289 – 294,. 2013.
- [18] Chang J.M., A Characteristic Heat Removal Efficiency for Thermosyphon Solar Water Heaters During the System Application, *Phase Transaction of Conference on the Use of Solar Energy*, University of Arizona; Vol.126, pp. 950-956, 2004.
- [19] Colle S, Abreu SL, Glitz K, Colle F. Optimization of the auxiliary heating and water storage insulation of a low cost domestic hot water heating system with anelectric shower. In: *Proceedings of ISES Solar World Congress*. 2001.
- [20] Rommel, M., Double-glazed collector with anti reflection glass, *Fraunhofer Institute for solar energy systems, IEA SHC – TAS 33, IEA SolarPACES IV, Sub Task C, Solar Heat for Industrial Processes, Medium Temperature Colecctors*, p 9-10, 2006.
- [21] Sillmann, R., Rosenwirth A., and Koeln H., SCHUECO Doeble Glzed Flat-Plate Collectors, *Schueco International KG, IEA SHC – TAS 33, IEA SolarPACES IV, Sub Task C, Solar Heat for Industrial Processes*, *Medium Temperature Collectors*, p 11-12, 2006
- [22] Bestenlehner, D., Drück H. and Fischer S., Advanced Testing and Quality Assurance Methods for Solar Thermal Systems and Components, *IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, ISES Conference Proceedings*, Abi Dhabi, 2017.