

PERANCANGAN TANGKI PEMANAS AIR TENAGA SURYA KAPASITAS 60 LITER DAN INSULASI TERMALNYA

Rasyid Atmodigdo¹, Muhammad Nadjib², TitoHadji Agung Santoso³
Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Yogyakarta, Yogyakarta 55183, Indonesia.
rasyidatmodigdo@gmail.com

INTISARI

Pemanas air tenaga surya (PATS) adalah teknologi pemanasan air yang telah dikenal masyarakat. Penelitian terakhir tentang aplikasi paraffin wax pada PATS sistem pasif telah dilakukan dengan tangki horisontal bervolume 31 liter. Sebagai langkah awal pengembangan tersebut perlu dirancang tangki PATS baru. Tujuan perancangan ini adalah merancang tangki horisontal dengan kapasitas 60 liter beserta sistem insulasi termalnya serta merancang alat penukar kalor berupa susunan kapsul pipa di dalam tangki. Perancangan tangki dimulai dengan pemilihan bahan, menentukan dimensi tangki dan tebal tangki. Perancangan insulasi dimulai dengan pemilihan bahan, menentukan jari-jari kritis, perhitungan rugi-rugi termal dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Tebal insulasi dipilih dengan syarat koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang terjadi sesuai standar SNI. Hasil modifikasi perancangan tangki PATS menghasilkan jari-jari tangki 122 cm, panjang tangki 25 cm, ketebalan badan tangki 2 mm. Susunan pipa *in-line* dengan diameter nominal 5/8" menghasilkan volume kapsul terbesar yaitu 0,0285 m³.

Keywords: Tangki PATS, *hoop stress*, *dome stress*, insulasi, koefisien perpindahan kalor menyeluruh

1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari, baik di bidang industri maupun rumah tangga. Pada saat ini di Indonesia sebagian besar masih menggunakan sumber energi fosil yang dapat habis. Konservasi energi adalah penggunaan energi konvensional seefisien mungkin dan diikuti usaha-usaha mencari teknologi baru dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Untuk aspek jangka pendek, konservasi energi dapat dilakukan melalui langkah-langkah penghematan energi maupun penggunaan energi yang terdapat di alam (Anonim, 1994).

Indonesia adalah salah satu negara yang terletak di khatulistiwa, beriklim tropis dan sangat berpotensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai energi alternatif. Bentuk pemanfaatan dari energi matahari selain *Solar Cell* adalah *Solar Water Heater* (pemanas air tenaga

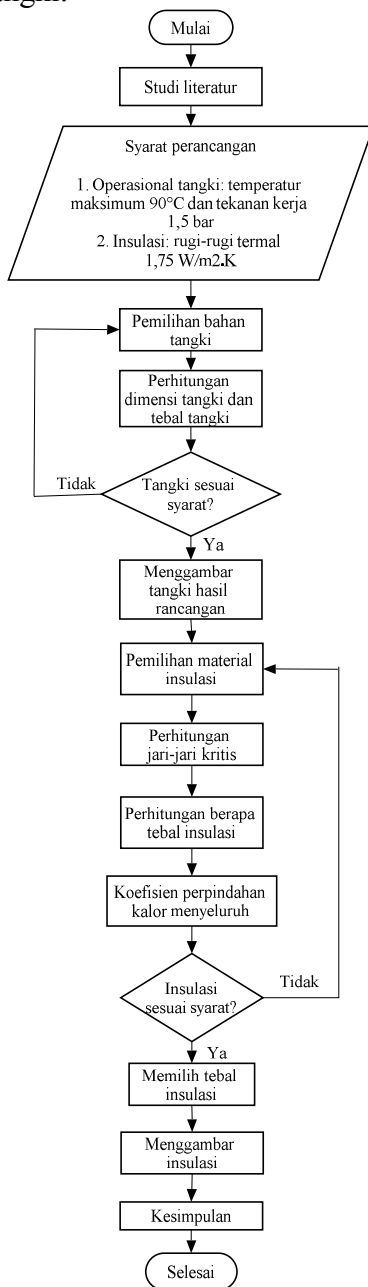
surya) (Zainuddin, 2014). Pemanas air tenaga surya (PATS) adalah teknologi pemanasan air yang telah dikenal masyarakat. PATS menggunakan air sebagai media penyimpanan energi termal. Penggunaan air mempunyai keuntungan yaitu nilai konduktivitas termalnya tinggi dan murah. Namun demikian, PATS memiliki kekurangan yaitu densitas energinya rendah (Hasan, 1994).

Salah satu upaya untuk meningkatkan densitas energi pada PATS konvensional adalah dengan menggunakan *phase change material* (PCM) di dalam sistem PATS. Canbazolu dkk (2005) meneliti pemakaian PCM pada PATS sistem pasif di dalam tangki vertikal dengan volume 190 liter. Nadjib dan Suhanan (2013) pernah meneliti investigasi *paraffin wax* dan air sebagai media penyimpan kalor pada PATS sistem pasif menggunakan tangki horisontal volume 31 liter. Sebagai pengembangan lebih lanjut, penggunaan tangki yang lebih besar perlu dilakukan

untuk menghasilkan penyimpanan energi yang lebih tinggi. Sistem penyimpanan energi termal PATS dilakukan pada tangki. Oleh karena itu perlu didesain tangki PATS kapasitas 60 liter beserta insulasi termalnya.

2. Metode Perancangan

Metode perancangan terdapat beberapa tahapan dalam perancangan tangki yaitu, menentukan dimensi tangki, menentukan tebal tangki dan menentukan kebutuhan (tebal) insulasi pada tangki.



Gambar 1. Diagram alir perancangan

Dari Gambar 1. dapat diketahui bahwa terdapat beberapa tahapan dalam perancangan tangki yaitu, menentukan dimensi tangki, menentukan tebal tangki dan menentukan kebutuhan (tebal) insulasi pada tangki.

Tangki pemanas air yang dirancang mempunyai kapasitas 60 liter. Perhitungan dimensi tangki dilakukan dengan menggunakan rumus volume tabung dan perhitungan ketebalan tangki menggunakan konsep *hoop stress*. Dimana tegangan ijin pada material digunakan sebagai acuan untuk perhitungan ketebalan tangki.

Kebutuhan insulasi tangki dapat dicari dengan menggunakan rumus rugi-rugi panas. Namun sebelumnya perlu memperhitungkan jari-jari kritis insulasi untuk mengetahui ratio konduktivitas thermal isolasi dengan koefisien perpindahan panas permukaan.

3. Hasil Perancangan dan Hasil

a. Pemilihan Bahan Tangki

Bahan material yang digunakan dalam perancangan tangki adalah plat baja karbon. Baja karbon merupakan material yang mempunyai *yield strength* cukup tinggi. Selain itu, baja karbon dapat ditemui dengan mudah dipasaran dan harganya terjangkau. Baja karbon yang digunakan pada perancangan ini yaitu baja karbon A283 Gr. A dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 1. Tegangan ijin baja karbon (ASME, 2002)

Spec. No.	Grade	Specified Min. Strength (ksi)		Basic Allowable Stress (ksi) at Material Temperature (°F)		
		Tensile	Yield	100	200	300
A 283	A	45	24	13,8	13,2	12,5
A 570	30	49	30	15	15	15
A 283	B	50	27	15,3	14,6	14
A 570	33	52	33	15,9	15,9	15,9

b. Perancangan Tangki

• Dimensi Tangki

Syarat perancangan adalah volume tangki 60 liter. Volume tangki dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = \pi r^2 l \dots\dots\dots (1)$$

atau

$$l = \frac{V}{\pi r^2} \dots\dots\dots (2)$$

Harga yang telah diketahui dimasukan sehingga:

$$l = \frac{60 \text{ lt}}{\pi r^2} = \frac{6000 \text{ cm}^3}{\pi r^2}$$

Hasil si atas disubtitusikan ke persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L &= 2\pi r^2 + 2\pi r l \dots\dots\dots (3) \\ &= 2\pi r^2 + 2\pi r \frac{6000}{\pi r^2} \\ L &= 2\pi r^2 + 120000r^{-1} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan *heat loss* minimum maka luas tangki harus minimum sehingga persamaan di atas diturunkan dan dinolkan.

$$\begin{aligned} L' &= 4\pi r - 120000r^{-2} = 0 \\ 4\pi r &= 120000r^{-2} \\ r &= \sqrt[3]{\frac{120000}{4\pi}} = 21,2156 \text{ cm} \\ &= 22 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi jari-jari tangki agar luasnya minimum adalah 22 cm, maka panjang tangki adalah:

$$l = \frac{60000}{\pi \times 21^2} = 43,307 \text{ cm} = 44 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhtungan di atas, agar rugi-rugi kalor minimum maka panjang tangki sama dengan diameternya.

➤ Ketebalan *Shell* Tangki

Tangki pemanas air tenaga surya yang dirancang menggunakan material plat baja karbon. Harga tegangan maksimum (σ) disajikan pada Tabel 4.1. Harga σ untuk plat baja karbon pada suhu 90 °C adalah 13,2 ksi. Data yang diketahui adalah tekanan air pada tangki (p) adalah 1,5 bar atau 150 kPa, diameter tangki (d) 44 cm atau 440 mm dan efisiensi penyambungan pada untuk pengelasan tabung tanpa

pengujian (η) adalah 0,6 (Tabel 2). Ketebalan tangki dicari dari persamaan (4) dengan asumsi *hoop stress*nya kurang dari tegangan ijin bahan.

Tabel 2. Efisiensi penyambungan pada pengelasan (Bhandari, 2010)

Type of welded joint	Weld joint efficiency (η)		
	Fully radiographed	Spot radiographed	Not examined
(a) Double welded butt joint with full penetration	1.0	0.85	0.70
(b) Single welded butt joint with backing strip	0.90	0.80	0.65
(c) Single welded butt joint without backing strip	-	-	0.60

- Ketebalan pada dinding tangki (*shell*)

Syarat:

$$H_s < \sigma \dots (4.a)$$

$$\sigma > \frac{pd}{2t\eta} \dots (4.b)$$

maka

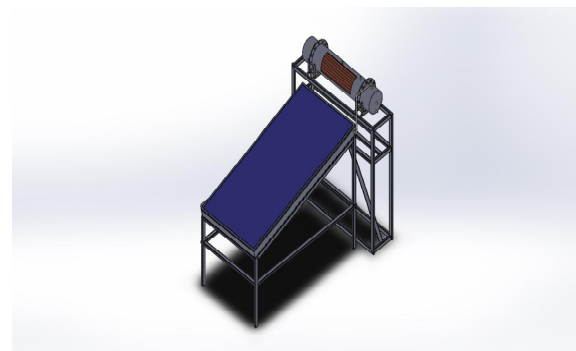
$$t > \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma \cdot \eta}$$

$$t > \frac{(1,5 \times 100) \text{ kPa} \times 440 \text{ mm}}{2 \times (13,2 \times 6894,757) \text{ kPa} \times 0,6}$$

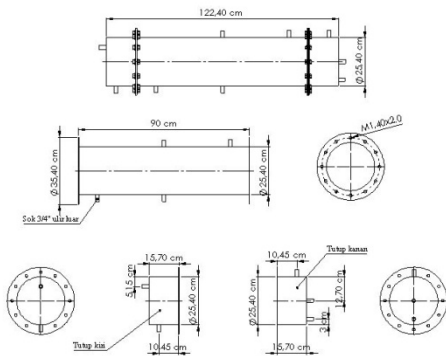
$$t > 0,604 \text{ mm}$$

c. Hasil Perancangan Tangki

Berdasarkan perhitungan di atas maka tangki yang dirancang adalah seperti Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Desain pemanas air tenaga surya (PATS)



Gambar 2. Ukuran tangki kapasitas 60 liter

Hasil perhitungan manual menunjukkan jari-jari tangki 22 cm, panjang tangki 44 cm, tebal badan tangki 0,604 mm dan tebal tutup tangki 0,302 mm. Namun demikian ukuran tangki yang dirancang harus mempertimbangkan aspek operasional pemanas air tenaga surya terutama panjang tangki. Kolektor surya yang digunakan berukuran panjang 2 m dan lebar 1 m. Plat baja karbon yang digunakan sebagai material tangki dengan ukuran 0,604 mm tidak tersedia dipasaran. Mempertimbangkan hal tersebut maka tangki yang dirancang dipilih berukuran diameter 25 cm, panjang 125 cm dan tebal 2 mm (Gambar 2).

d. Perancangan Insulasi Tangki

- Material Insulasi

Glasswool merupakan bahan yang akan digunakan sebagai insulasi dengan konduktivitas 0,038 W/m.K seperti ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 4.3 Konduktivitas termal (Holman, 2002)

Material	Thermal conductivity	
	W/m · °C	Btu/h · ft · °F
Metals:		
Silver (pure)	410	237
Copper (pure)	385	223
Aluminum (pure)	202	117
Nickel (pure)	93	54
Iron (pure)	73	42
Carbon steel, 1% C	43	25
Lead (pure)	35	20.3
Chrome-nickel steel (18% Cr, 8% Ni)	16.3	9.4
Nonmetallic solids:		
Diamond	2300	1329
Quartz, parallel to axis	41.6	24
Magnesite	4.15	2.4
Marble	2.08–2.94	1.2–1.7
Sandstone	1.83	1.06
Glass, window	0.78	0.45
Maple or oak	0.17	0.096
Hard rubber	0.15	0.087
Polyvinyl chloride	0.09	0.052
Styrofoam	0.033	0.019
Sawdust	0.059	0.034
Glass wool	0.038	0.022
Ice	2.22	1.28

- Jari-Jari Kritis

Nilai koefisien perpindahan panas konveksi lingkungan dicari dengan persamaan (5). Kecepatan angin rata-rata diasumsikan 2,28 m/s dan temperatur rata-rata udara luar adalah 32,55 °C (Nadjib, 2015). Koefisien perpindahan panas konveksi lingkungan adalah:

$$h_w = 2,8 + 3(V) \dots (5)$$

$$h_w = 2,8 + 3(2,28) = 9,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Berdasarkan harga-harga k dan h_w di atas maka jari-jari kritis insulasi adalah:

$$r_c = \frac{k}{h_w} \dots (6)$$

$$r_c = \frac{0,038 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{9,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$r_c = 0,00394 \text{ m} = 3,94 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan menunjukan bahwa jari-jari kritis jauh lebih kecil dari pada jari-jari luar tangki (= 127 mm). Oleh karena itu berapapun penambahan insulasi akan memperbesar hambatan total, sehingga mengurangi *heat loss* ke lingkungan (Incropera dkk, 2007).

- Tebal Insulasi

Untuk mengetahui kalor total yang hilang dan koefisien perpindahan panas secara keseluruhan di setiap tahapannya maka perlu dilakukan perhitungan tahanan totalnya. Diketahui bahwa suhu air (T_i) 90 °C, suhu di lingkungan (T_∞) 32,55 °C, panjang tangki 125 cm, koefisien perpindahan kalor konveksi lingkungan adalah 9,64 W/m².K, jari-jari luar tangki (r_1) sebesar 0,127 m. Dengan asumsi tebal insulasi 1 cm maka temperatur permukaan insulasi diketahui dari persamaan (7).

$$T_2 = \left[\left(\frac{T_i - T_\infty}{\frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2\pi k_t l} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k_{gw} l} + \frac{1}{2\pi r_2 l h_w}} \right) \times \frac{1}{2\pi r_2 l h_w} \right] + T_\infty \quad (7)$$

$$T_2 = \left[\left(\frac{90 - 32,55}{\frac{\ln \frac{0,127}{0,125}}{2 \cdot \pi \cdot 43,1,25} + \frac{\ln \frac{0,137}{0,127}}{2 \cdot \pi \cdot 0,038,1,25} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,137,1,25,9,64}} \right) \times \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,137,1,25,9,64} \right] + 32,55$$

$$T_2 = 48,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{out} = \frac{T_i - T_\infty}{R_{th i-\infty}} = \frac{T_i - T_\infty}{\frac{\ln \frac{r_1}{r_i}}{2\pi k_t l} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi k_{gw} l} + \frac{1}{2\pi r_2 l h_w}} \quad (8)$$

$$Q_{out} = \frac{90 - 32,55}{\frac{\ln \frac{12,7}{12,5}}{2 \cdot \pi \cdot 43,1,25} + \frac{\ln \frac{13,7}{12,7}}{2 \cdot \pi \cdot 0,038,1,25} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 13,7,1,25,9,64}}$$

$$Q_{out} = 163,949 \text{ Watt}$$

$$U = \frac{Q_{out}}{\Delta T} = \frac{Q_{out}}{2\pi r_2 l \Delta T} \dots\dots\dots (9)$$

$$U = \frac{163,949}{2 \cdot \pi \cdot 0,137,1,25 \cdot (90 - 32,55)}$$

$$U = 2,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Perhitungan untuk tebal insulasi yang lain disajikan dalam Tabel 3

Tabel 3. Ketebalan insulasi

Radius tangki dalam, r1 (m)	Radius tangki luar, r2 (m)	Tebal insulasi (cm)	Radius insulasi, r3 (m)	Tahanan termal (m.K/W)			Total	Kalor yang hilang (Watt)	Koefisien perpindahan kalor, U
				Kondisi tangki	Kondisi insulasi	Konveksi			
0,125	0,127	1	0,137	4,7E-05	0,2540	0,0964	0,3504	185,8499	2,6522
0,125	0,127	1,1	0,138	4,7E-05	0,2783	0,0957	0,3741	153,7761	2,4964
0,125	0,127	1,2	0,139	4,7E-05	0,3025	0,0950	0,3976	144,4972	2,3039
0,125	0,127	1,3	0,14	4,7E-05	0,3265	0,0943	0,4209	136,4849	2,1606
0,125	0,127	1,4	0,141	4,7E-05	0,3504	0,0937	0,4441	129,3614	2,0333
0,125	0,127	1,5	0,142	4,7E-05	0,3741	0,0930	0,4671	122,9865	1,9195
0,125	0,127	1,6	0,143	4,7E-05	0,3976	0,0924	0,4900	117,2479	1,8171
0,125	0,127	1,7	0,144	4,7E-05	0,4209	0,0917	0,5127	112,0548	1,7246
0,125	0,127	1,8	0,145	4,7E-05	0,4441	0,0911	0,5353	107,3329	1,6405
0,125	0,127	1,9	0,146	4,7E-05	0,4671	0,0905	0,5577	103,0026	1,5638
0,125	0,127	2	0,147	4,7E-05	0,4900	0,0898	0,5799	99,0669	1,4936

Berdasarkan Tabel 3. diketahui bahwa semakin tebal insulasi yang digunakan maka harga koefisien perpindahan kalor semakin kecil. Ketebalan insulasi yang memenuhi syarat yaitu 1,7 cm dengan

harga koefisien yang terjadi sebesar 1,7246 W/m².K.

4. Kesimpulan

- Hasil rancangan tangki PATS adalah:
 - Bahan : baja karbon
 - Volume : 60 liter
 - Diameter : 44 cm
 - Panjang : 44 cm
 - Tebal shelli : 0,604 mm
- Berdasarkan pertimbangan aspek operasional dan ketersediaan bahan di pasar maka hasil rancangan pada butir 1 diubah yakni:
 - Diameter : 25 cm
 - Panjang : 125 cm
 - Volume : 60 liter
 - Tebal shell : 2 mm
- Bahan insulasi termal adalah *glasswool*. Tebal insulasi sebesar 2 cm dengan harga koefisien perpindahan kalor menyeluruh yaitu 1,493 W/m².K. Harga koefisien ini berada dibawah ketentuan SNI yaitu 1,75 W/m².K.

Daftar Pustaka

Bhandari, V. B. (2010). *Design of Machine Elements*. New York: Tata McGraw Hill Education Private Limited.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: Wiley.

Hasan, A. (1994). Phase Change Material Energy Storage System Employing Palmatic Acid. *Solar Energy*, 143 – 154.

Incropera, F. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., & Dewitt, D. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jefferson: John Wiley & Sons.

Nadjib, M. (2015). *Kajian Ekperimental Pemanas Air Tenaga Surya Domestik "Sibela"*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Yayasan Mitra Teknologi Indonesia.
(1994). *Rencana pembangunan
kelistrikan & energi terbarukan
dalam PJP II*. Jakarta: Mitra
Technology Indonesia Foundation.

Zainuddin. (2014). *Perancangan Pemanas
Air Tenaga Surya Kapasitas 25
Liter*. Malang: Universitas
Muhammadiyah Malang.