

Prediksi Kinerja Sistim Integrasi Penyerap Energi Surya dan Storage Air dengan Nomogram

M. Syahri

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jln. Swk 104 Lingkar utara, Condongcatur, Yogyakarta, 55283.
Telp/fax: 0274 486889, email : syahri_moh@yahoo.com

Abstract

Investigation of integration systems of solar water heater and reservoir of water has been done. Systems consisted of absorbent plate and reservoir of water integrated to become one unit. Absorbent plate is in the form of semi ellipse with number of 19 passages has capacities 16 litres. This wide fairish absorbent plate 1.4 m and long 1.7 m. Tanki reservoir of water with depth of 10 cm has capacities 345 litres. Almost overall of material applied made from fiber glass (GFRP) with resin polyester as glue. Prediction of Knowable systems work short exchange with mathematical model consisted of by equation of continuity of current energy balance in absorbent passage yields some dimension parameters of Heywood number (Y), Yellot number (Z), Brooks number (X) and specific payload (W). Relation between this parameter applicable to predict systems work short exchange for various water weights in tanki reservoir with dip of different absorbent plate in certain weather in the form of nomogram. With nomogram yielded from some dimension equation of continuities doesn't can predicted work short exchange from at systems in easy and quickly. From result of this simulation discovered diffraction of solar radiation (f) has 0.315. This means that performance of systems permeates solar radiation was 31.5%.

Keywords: fiber glass dengan resin polyester (GFRP), specific payload

I. Pendahuluan

Air panas ialah merupakan salah satu sumber yang penting dalam kehidupan kita sehari-hari, sebagian besar air panas dibutuhkan untuk proses industri dan kebutuhan rumah tangga. Bagi masyarakat yang berpendapatan tinggi (level menengah ke atas), kebutuhan air panas sudah tidak asing lagi. disamping untuk kebutuhan rumah tangga, air panas ini juga penting sekali keberadaannya dibidang perhotelan. Air panas ini dapat digunakan untuk mandi, mencuci pakaian dan bahkan untuk mencuci piring, dll. Di sektor industri penggunaan air panas juga cukup penting. Penggunaan air panas sebagai salah satu kebutuhan hidup adalah semakin meluas, sehingga berbagai usaha telah dilakukan untuk menghasilkan air panas tersebut. Air panas yang dihasilkan iaitu salah satunya dari pada proses perubahan energi sinar matahari (elektromagnetik) kepada energi panas. Proses ini terjadi pada alat yang disebut plat penyerap. Penggunaan sinar matahari sebagai sumber energi adalah sangat diperlukan dalam kondisi dimana cadangan energi tidak terbarukan mulai berkurang. Energi matahari (surya) ini keberadaannya tidak terbatas, tidak merusak lingkungan dan tidak dipengaruhi oleh iklim politik. Oleh karena itu diperlukan adanya suatu rekabentuk alat supaya dapat beroperasi menggunakan sumber tenaga terbarukan. Suatu sistem penggabungan unit penyerap energi surya dan tanki air menjadi satu unit telah dikaji oleh (Garg & Datta, 1982; Garg & Rani, 1982; Sodha et al., 1984). Sistim ini relatif lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan dengan sistim yang terpisah antara plat penyerap dengan tanki penyimpan air yang sebelumnya telah ada. Walaupun demikian sistim ini masih terdapat

kelemahan yaitu terjadinya penurunan suhu air di dalam tanki penyimpan, hal ini disebabkan oleh kehilangan panas dari sistem ke sekeliling terutama di malam hari. Sehingga suhu air masuk ke plat penyerap pada keesokan harinya adalah rendah. Beberapa usaha telah dilakukan oleh para penyelidik untuk mengurangi kehilangan panas dari sistim ke sekeliling iaitu seperti yang telah dilakukan oleh (Garg & Rani, 1982) menggunakan penutup yang diletakkan di atas penutup kaca dan plat penghalang di dalam tanki penyimpan. Bahan isolasi transparan juga telah digunakan oleh (Goetzberger A. & Rommel, 1987; Schmidt et al., 1988). Rekabentuk sistim yang mempunyai geometri segitiga (Ecevit et al., 1989). Selain itu penggunaan dioda terma yang dibuat dari bahan plastik mempunyai dengan ukuran lebar 2.5 cm diletakkan dibahagian air masuk ke saluran penyerap (Mohamad, 1997).

Penggunaan tembaga, aluminium dan logam (besi) adalah lebih sering digunakan dibanding bahan lain untuk penyerap sinaran surya (Suhatme, 1984). Tetapi penggunaan bahan itu mempunyai beberapa keburukan diantaranya adalah biaya yang mahal, sistim menjadi lebih berat dan sukar dipabrikasi. Selain itu plat penyerap yang terbuat dari pada logam memerlukan rawatan air yang lebih baik untuk menghindari terjadi proses pengkaratan. Oleh sebab itu diperlukan bahan yang terbuat daripada komponen bukan logam seperti bahan komposit. Di German, penggunaan bahan plastik Ethylene propylene diene monomer (EPDM) sebagai penyerap panas untuk memanaskan air kolam renang telah dilakukan oleh (Croy & Peuser, 1994). Dan pada tahun yang sama (Sopian et al., 1994) melakukan ujikaji penyerap

sinaran surya menggunakan bahan Thermoplastic Natural Rubber (TPNR) sebagai penyerap. Ujikaji dilakukan terus menerus selama enam hari. Untuk cuaca berawan (1.5-3.5 kWh/m²) diperoleh suhu air dalam tangki penyimpan pada sore hari meningkat 10-20°C dan 20-32°C disaat cuaca cerah (3.5-5 kWh/m²). Suhu maksimal terhasil 80°C dan penurunan suhu pada malam hari dan pagi hari sebelum sistim dioperasikan adalah 2-8°C. Dalam makalah ini penggunaan bahan fiber glas (GFRP) daripada keseluruhan sistim telah dilakukan. Walaupun didapati nilai konduktifitas panas jauh lebih kecil dibanding dengan konduktivitas panas yang dimiliki oleh bahan-bahan logam, tetapi bahan tersebut mudah diubah bentuk, ringan, tahan terhadap serangan korosi dan lebih murah harganya berbanding dengan bahan-bahan logam. Permukaan plat penyerap dilapisi bahan yang bersifat sebagai benda hitam dan mempunyai nilai absorpsiviti, α (0.95-0.97) dan emisiviti, ϵ (0.08-0.14). Untuk mengurangi kehilangan panas ke sekeliling digunakan isolasi dari bahan polyurethane yang mempunyai densitas 3 gr/l dengan tebal 30 mm. Dalam makalah ini prediksi unjuk kerja sistim pemanas air surya dengan tanki penyimpan air bergabung menjadi satu dari bahan GFRP dengan bantuan nomogram akan dijelaskan.

Prediksi unjuk kerja sistim dapat diketahui dengan model matematik yang terdiri dari persamaan kesetimbangan energi aliran air di dalam saluran penyerap. Persamaan energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu air tanpa pengeluaran air dari dalam sistim adalah:

$$M_w C_w \frac{dT_w}{dt} = F' A_c [S\alpha - (U_L + U_b)(T_w - T_a)] \quad (1)$$

Persamaan (1) adalah persamaan diferensial orde satu dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut:

$$M_w C_w \frac{dT_w}{dt} = F' A_c \left[\frac{\bar{S}}{t} \alpha - (U_L + U_b)(T_w - T_a) \right] \quad (2)$$

Dengan anggapan pada keadaan awal suhu air di dalam tangki penyimpan (T_w) adalah sama dengan suhu sumber air masuk ke penyerap (T_m), maka dapat dinyatakan:

$$T_w = T_m \quad (3)$$

Seandainya kehilangan panas ke sisi-sisi sistim diabaikan dan parameter kehilangan panas setiap kenaikan suhu air per °C serta nisbah kehilangan panas yang hilang dengan panas yang dikandung oleh sistim dimisalkan oleh persamaan sbb:

$$U_T = U_L + U_b ; P = \frac{F_{av} A_c U_T}{M_w C_w} ; f(t) = \frac{F_{av} A_c \bar{S} \alpha}{M_w C_w t} \quad (4)$$

perbedaan suhu air dengan keadaan sekeliling dinyatakan dengan:

$$\theta = T_w - T_a = T_m - T_a \quad (5)$$

Dengan penggantian persamaan (3) hingga (5) kepada persamaan (2), maka didapatkan persamaan dalam bentuk persamaan diferensial orde satu sebagai berikut:

$$\frac{d\theta}{dt} + P\theta = f(t) \quad (6)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (6) dan memasukkan nilai keadaan awal, nilai P dan $f(t)$ ke persamaan tersebut akan didapati persamaan:

$$\theta - \theta_o = \frac{F' A_c \bar{S} \alpha - F' A_c U_T (T_m - T_a)}{F' A_c U_T} \left(1 - e^{-\frac{F' U_T}{M_w C_w} t} \right) \quad (7)$$

Fraksi suria, f , dapat dinyatakan sebagai persamaan:

$$f = \frac{M_L C_w (\theta - \theta_o)}{Q_T} \quad (8)$$

Gantian persamaan (8) kepada persamaan (7), maka akan didapati persamaan:

$$\frac{f Q_T}{M_L C_w (T_m - T_a) \left(1 - e^{-\frac{F' A_c U_T}{M_w C_w} t} \right)} = \frac{F' A_c \bar{S} \alpha}{F' A_c U_T (T_m - T_a)} + 1 \quad (9)$$

Dengan membuat tiga kumpulan parameter tanpa dimensi seperti ditakrifkan berikut ini:

$$\text{Bilangan Brooks (X)} = \frac{f Q_T}{M_L C_w (T_a - T_m)} \quad (10)$$

$$\text{Bilangan Heywood (Y)} = \frac{F' A_c \bar{S} \alpha}{M_w C_w (T_a - T_m)} \quad (11)$$

$$\text{Bilangan Yellot (Z)} = \frac{F' A_c U_T t}{M_w C_w} \quad (12)$$

Bilangan tidak berdimensi dalam persamaan (10) hingga (12) disisipkan ke persamaan (9), maka akan didapatkan persamaan tidak berdimensi yang dituliskan seperti persamaan 13:

$$\frac{X}{(1 - e^{-z})} = \frac{Y}{Z} + 1 \tag{13}$$

Persamaan (13) dapat juga dituliskan seperti persamaan 14.

$$\frac{X}{(1 - e^{-z})} = m_j \frac{Y}{Z} \tag{14}$$

Menurut (Hobson & Norton, 1989) beban spesifik, W , adalah merupakan nisbah beban maksimum, M_L terhadap kapasitas tanki penyimpanan, M_w , dan dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$W = \frac{M_L}{M_w} \tag{15}$$

Pengaruh parameter aliran dalam sistim dapat dinyatakan dengan bilangan Bailey, K , yang mempunyai persamaan:

$$K = \frac{\rho \beta g \Delta T_{ref} (h_3 - h_2 / 2)}{um_{ref} [L_r / N(D_r^4) + (L_p / D_p^4)]} \tag{16}$$

Nilai penurunan yang berkaitan dengan parameter sistim, Δm_j , diberikan oleh persamaan:

$$\Delta m_j = 2.541 \times 10^{-3} + 0.780(m^*) + 1.967(m^*)^2 \tag{17}$$

Berlaku untuk nilai: $0 \leq m^* \leq 0.15$ dengan

$$m^* = 0.195 \exp[(0.402 - 0.387K)Z_f] \tag{18}$$

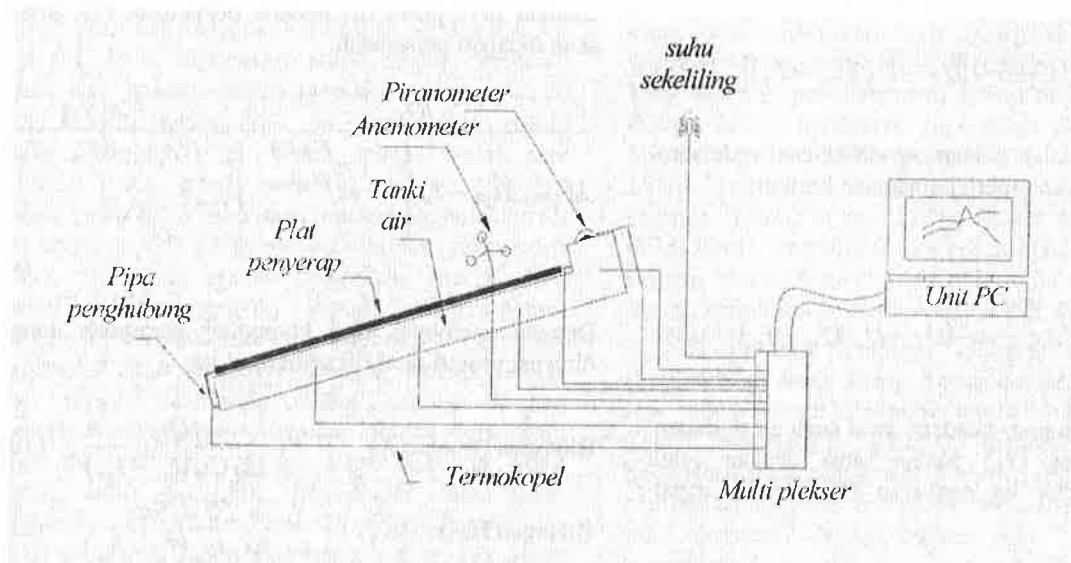
Hubungan antara nilai mutlak penurunan maksimum, $m_{j,max}$, dan W , dapat dinyatakan sebagai persamaan garis lurus yang dianggap memenuhi beberapa data iaitu:

$$m_{j,max} = 0.4817(W)^{-0.937} \text{ untuk nilai } 0.5 < W < 6.8 \tag{19}$$

II. Metodologi

Sistim yang akan diuji mempunyai kemiringan 10° dari bidang horizontal menghadap ke selatan, ini dimaksudkan supaya sistim menerima sinaran surya yang maksimal. Plat penyerap berbentuk setengah elips dengan jumlah 19 saluran mempunyai kapasitas 16 liter. Plat penyerap ini berukuran lebar 1.4 m dan panjang 1.7 m. Tanki penyimpanan air dengan kedalaman 10 cm mempunyai kapasitas 345 liter. Hampir keseluruhan bahan yang digunakan terbuat dari fiber glas dengan resin polyester sebagai perekat (GFRP).

Beberapa termokopel type K digunakan untuk mengetahui suhu air di tempat-tempat yang telah ditentukan. Termokopel dihubungkan ke multi plekser yang mempunyai 16 saluran termokopel. Selanjutnya multi plekser dihubungkan ke unit pemroses data yang telah di install di dalam sebuah PC. Hasil yang ditampilkan berwujud lembar kerja Exell. Skematik diagram sistim pemanas air surya dengan tanki penyimpanan air bergabung menjadi satu ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Skematik diagram sistim

Metoda nomogram ini terdiri dari beberapa parameter tidak berdimensi iaitu bilangan Heywood (Y), bilangan Yellof (Z), bilangan Brooks (X) dan beban spesifik (W). Hubungan antara parameter ini dapat digunakan untuk memprediksi unjuk kerja sistim untuk berbagai berat

air di dalam tanki penyimpanan dengan kemiringan plat penyerap yang berbeda dalam cuaca tertentu. Parameter-parameter yang dianggap perlu dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter

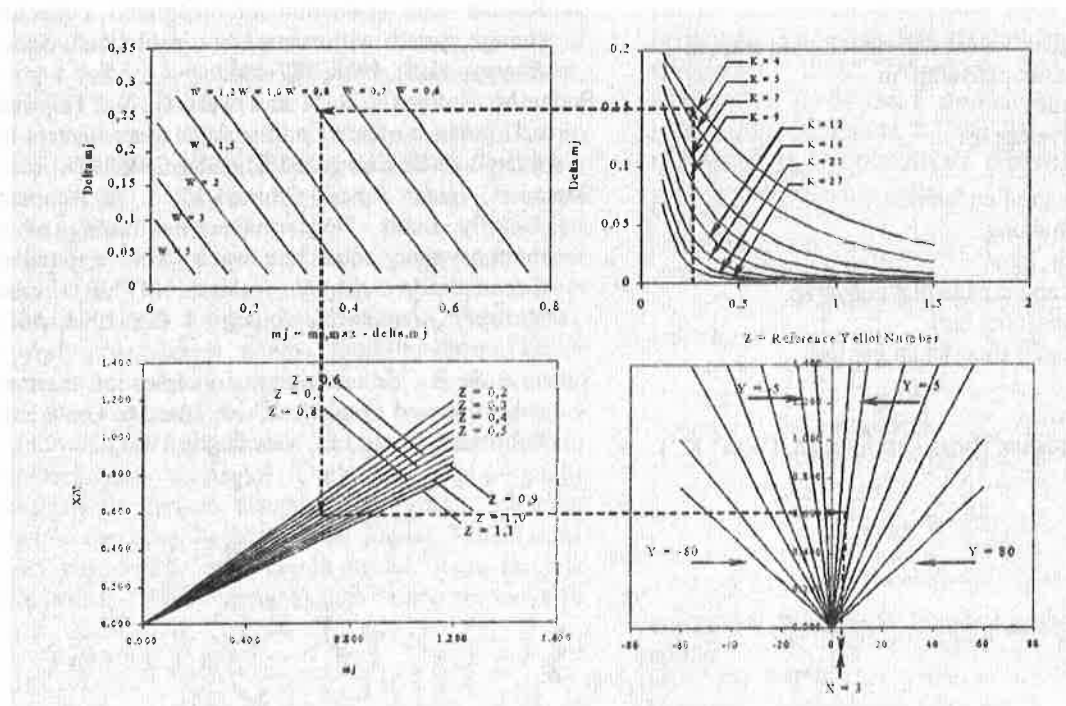
A_c	$= 2.52 \text{ m}^2$	D_p	$= 0.025 \text{ m}$
F_{av}	$= 0.9$	I_{td}	$= 4.5 \text{ MJm}^{-2}$
$(\tau\alpha)_e$	$= 0.85$	T_a	$= 29^\circ\text{C}$
U_T	$= 6 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$	T_m	$= 30^\circ\text{C}$
$(UA)_s$	$= 3 \text{ W K}^{-1}$	t	$= 36000 \text{ s}$
N	$= 19$	M_w	$= 263 \text{ kg}$
M_s	$= 329 \text{ kg}$	T_L	$= 40^\circ\text{C}$
h_3	$= 0.45 \text{ m}$	ρ_w	$= 998 \text{ kgm}^{-3}$
h_2	$= 0.35 \text{ m}$	μ_w	$= 10^{-3} \text{ Nsm}^{-2}$
L_r	$= 0.4 \text{ m}$	v_w	$= 1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}$
L_p	$= 0.72 \text{ m}$	C_w	$= 4190 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
D_r	$= 0.015 \text{ m}$	β_w	$= 1.5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

Rancangan Nomogram ini terdiri dari pada empat kuadran dan masing-masing kuadran memberikan ciri khas. Kuadran I hingga IV yang mempunyai hubungan erat satu sama lainnya. Kuadran I hingga IV dapat dibuat dengan cara yaitu: (i) Dengan parameter konfigurasi, kondisi operasi dan sifat panas dari pada sistim yang dapat ditunjukkan dalam table 1 dapat dihitung nilai bilangan Yellot, Z, bilangan Heywood, Y, bilangan Brooks, X, bilangan Bailey, K, dan beban spesifik, W. Ini sesuai dengan persamaan (10a-c) dan (13-14). (ii) membuat kurva yang menunjukkan hubungan bilangan Yellot, Z dan nilai penurunan (Δm_j) dalam persamaan (15) dengan bilangan Bailey, K, dalam persamaan (14) sebagai parameter. Ini disebut dengan kuadran I. (iii) membuat kurva yang menunjukkan hubungan sifat penurunan (m_j) dalam

persamaan (17) dan nilai penurunan (Δm_j) dengan beban spesifik (W) sebagai parameter. Hubungan ini dinamakan sebagai kuadran II. (iv) kuadran III terdiri daripada nisbah bilangan Brooks terhadap bilangan Heywood (X/Y) vs sifat penurunan (m_j) dengan bilangan Yellot (Z) sebagai parameter dan (v) membuat kurva yang menunjukkan hubungan nisbah bilangan Brooks terhadap (X/Y) vs bilangan Brooks (X) dengan bilangan Heywood sebagai parameter. Selanjutnya nomogram ini dibaca secara berlawanan arah jarum jam di mulai daripada kuadran I (sebelah kanan atas) sampai kuadran IV (sebelah kanan bawah). Fraksi surya, f, dapat dihitung melalui persamaan (8) setelah nilai bilangan Brooks, X diperoleh dalam kuadran IV.

III. Hasil dan Pembahasan

Dalam kajian ini nilai Z, K, W dan Y telah dihitung menggunakan data-data ciri daripada sistim (Tabel 1) dan didapati nilai masing-masing adalah 0.3, 7, 0.8, dan 5. Selanjutnya kurva nomogram dapat dibuat dengan cara seperti diatas dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar. 2. Dari hasil simulasi ini didapati nilai bilangan Brooks, X dalam kuadran IV adalah 3. Selanjutnya melalui pers.(8) nilai fraksi sinaran surya, f, dari pada sistim yang dikaji adalah 0.315. Ini berarti bahwa kemampuan sistim menyerap sinaran surya adalah 31.5%. Untuk meningkatkan fraksi sinaran surya dapat dengan cara memperbesar bilangan yellot (Z) berarti memperkecil kapasitas tanki penyimpanan (W_m) seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (10c). Dengan jumlah fluk panas yang sama akan didapati suhu air di dalam tangki penyimpanan lebih tinggi.



Gambar 2. Nomogram sistim pemanas air surya dengan tanki penyimpanan air

IV. Kesimpulan

Prediksi unjuk kerja sistim pemanas air surya dengan tanki penyimpanan air bergabung menjadi satu dengan cara nomogram adalah salah satu cara yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan cara teoritis yaitu yang berdasarkan kesetimbangan energi dari pada sistim. Persamaan yang dihasilkan dari kesetimbangan energi adalah lebih komplek dan penyelesaian persamaan tersebut hanya dapat diselesaikan secara numerik. Dari hasil kajian ini didapati fraksi sinaran surya adalah 31.5%, hasil ini lebih kecil 10-20% bila dibandingkan sistim pada umumnya menggunakan bahan logam sebagai plat penyerap. Walaupun demikian kajian ini juga sekaligus membuktikan bahwa bahan GFRP dapat sebagai bahan plat penyerap yang harganya relatif lebih murah.

V. Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Teknologi dan Persekitaran Malaysia atas pendanaan dalam penelitian ini melalui IRPA 02-02-02-0012 dan IRPA 09-02-02-0057

NOTASI

A_c	luas plat penyerap, m^2
C_p	kapasitas panas air, $J\ kg^{-1}K^{-1}$
D	diameter dalam pipa, m
F_{av}	faktor efisiensi plat penyerap
f	fraksi sinar matahari harian
g	percepatan gravitasi bumi, $m\ s^{-2}$
I	total sinaran matahari yang diterima plat penyerap, $J\ m^{-2}$
h_1	tinggi lubang pengeluaran air dari plat penyerap, m
h_2	selisih tinggi air keluar dan masuk penyerap, m
h_3	tinggi air masuk penyerap, m
K	bilangan Bailey
L	panjang penyerap, m
M	berat air, kg
M_j	karakteristik gradien kurva.
m^*	fungsi penghubung
m_{ref}	kecepatan air, $kg\ s^{-1}$
N	jumlah saluran air pada plat penyerap
N_p	jumlah sirkulasi per hari
Q_{tot}	jumlah air panas diperlukan per hari
T	suhu, $^{\circ}C$
t	waktu operasi, s
U	koef. Perpindahan panas keseluruhan, $(Wm^{-2}\ K^{-1})$

W	beban spesifik
X	bilangan Brooks
Y	bilangan Heywood
Z	bilangan Yellot
α	absorpsivitas plat penyerap
β	nilai pengembangan dari pada air, (K^{-1})
ν	viskositas kinematik air, (m^2s^{-1})
ρ	Density of water, $(kg.m^{-3})$
τ	Transmittance of glass collector cover

VII. Daftar Pustaka

- Croy R., & Peuser F. A. "Experience with solar systems for heating swimming pools in Germany". *Solar Energy*. **53** (1), 1994, 47-52
- Ecevit A, Al Shariah A. M & Apaydi E. D. "Triangular build-in-storage solar water heater". *Solar Energy*. **42**(3), 1989, 253-265.
- Garg H. P. & Datta G. "The top loss calculation of flat plate solar collector". *Solar Energy*. **32**(1), 1982, 141-143.
- Garg H. P. & Rani U. "Theoretical and experimental studies on collector/storage type solar water heater". *Solar Energy*. **29**(6), 1982, 467-478.
- Goetzberger A. & Rommel M. "Prospects for integrated storage collector System in Central Europe". *Solar Energy*. **39**(3), 1987, 211-219.
- Hobson P. A & Norton B. "A design Nomogram for direct thermosyphon solar energy water heaters". *Solar Energy*. **43**(2), 1989, 85-95
- Mohamad A. A. "Integrated solar collector-storage tank system with thermal diode". *Solar Energy*. **61**(3), 1997, 211-218.
- Schmidt CH, Goetzberger A and Schmid J. "Test Results and evaluation of integrated collector storage system with transparent insulation". *Solar Energy*. **41**(5), 1988, 487-494.
- Sodha M. S, Shukla, S. N & Tiwari, G. N. "Thermal performance of n built in storage water heaters in series". *Solar Energy*. **32**(2), 1984, 291-297.
- Sopian K, Jaafar Sahari, Othman M. Y. & Achmad Zulkifly Lubis. "Performance monitoring of a thermosyphon solar hot water with a parallel thermoplastic natural rubber (TPNR) tube absorber". *Renewable Energy*. **4** (5), 1994, 561-577.
- Suhatme S. P. "Solar energy principles of thermal collection and storage". 2th ed. Tata Mc Graw Hill Publishing Comp.Ltd. New Delhi, 1984