

Kolektor Surya Prismatik

Philip Kristanto

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

James Laeyadi

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Kolektor surya merupakan suatu bagian dari peralatan yang dibutuhkan untuk mengubah energi radiasi matahari ke bentuk energi panas untuk berbagai keperluan, misalnya sebagai pemanas air. Salah satu bentuk dari kolektor surya adalah bentuk prisma yang memiliki kemampuan untuk menerima intensitas radiasi matahari dari segala posisi matahari, sehingga diharapkan pemanfaatan energi tersebut sebagai pemanas air dapat lebih efektif.

Kolektor surya akan menyerap energi dari radiasi matahari dan mengkonversikannya menjadi panas yang berguna untuk memanaskan air di dalam pipa-pipa kolektor, sehingga suhu air akan meningkat dan terjadi konveksi alami berdasarkan efek termosipon karena adanya perbedaan masa jenis fluida.

Dari percobaan didapatkan bahwa posisi terbaik dari kolektor yang menghasilkan efisiensi yang optimal dengan menempatkan kolektor 15° dari arah timur ke utara.

Kata kunci: Pemanas air tenaga surya

Abstract

Solar collector is the essential item of equipment which transforms solar radiation energy to some other useful energy form, for example as the water heater.

One of the shape solar collector, is prismatic which have ability to receive solar radiation intensity from all the sun's position, so that using solar energy as water heater can more effective.

Solar collector can absorb solar radiation intensity and convert it to useful calor for heating the water inside the pipes of the collector, so the temperature of the water is rise and natural convection is happen by the basic of thermosiphon because effect of mass density fluid difference.

From the experiment is found the best position to locate the collector which can produce optimal efficiency are 15 degre from east to north..

Keywords: Solar water heater

1. Pendahuluan

Energi radiasi dari matahari merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan guna menggantikan energi yang dihasilkan oleh minyak bumi. Salah satu bentuk pemanfaatan dari energi radiasi matahari adalah untuk memanaskan air. Suatu karunia yang indah bahwa Indonesia yang terletak pada katulistiwa bumi mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun, sehingga bentuk energi yang tak terhabiskan ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan sebagai bentuk energi alternatif.

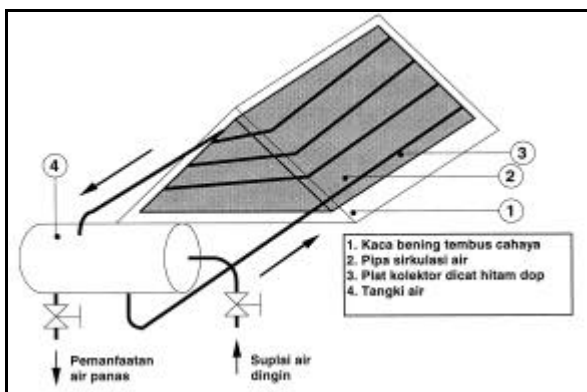
Agar dapat memanfaatkan energi radiasi matahari untuk memanaskan air digunakan suatu perangkat untuk mengumpulkan energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan kolektor surya. Ada beberapa tipe kolektor surya, salah satu diantaranya yang memiliki kinerja yang dapat diunggulkan adalah kolektor surya tipe prismatik. Keunggulan dari kolektor surya tipe prismatik ini adalah kemampuannya untuk dapat menerima energi radiasi matahari dari segala posisi matahari. Kolektor surya tipe prismatik dapat digolongkan dalam kolektor plat datar dengan permukaan kolektor berbentuk prisma yang tersusun dari 4 bidang yang membentuk prisma, 2 bidang berbentuk segi-tiga sama kaki dan 2 bidang yang lain berbentuk segi-empat siku-siku. Untuk mendapatkan hasil yang optimal permukaan kolektor dicat dengan warna hitam kusam yang

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 2 Oktober 2000.

berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang datang dan mentransfer kalor yang diterima ke fluida kerja. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konveksi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga terjadi efek rumah kaca sedangkan bagian bawah plat kolektor diberi isolator untuk meminimalisir kerugian panas pada bagian bawah plat kolektor.

Sebagai titik tolak dalam melakukan perhitungan untuk mendesain kolektor surya tipe prismatik disamping data intensitas radiasi matahari pada lokasi dimana kolektor tersebut ditempatkan hal terpenting lainnya adalah perhitungan geometris dari kolektor (luas permukaan kolektor, kemiringan kolektor terhadap intensitas radiasi matahari langsung), efek termosipon pada pipa-pipa sirkulasi untuk menentukan kemampuan sistem melakukan konveksi alami, serta suhu masuk dan keluar pipa sirkulasi.

Prinsip kerja dari sistem pemanas air dengan kolektor surya prismatik ini ditunjukkan dalam gambar 1. Air dingin yang berada dalam tangki penampung mengalir masuk ke kolektor melalui pipa sirkulasi dan akan mendapatkan transfer kalor baik secara konveksi maupun radiasi akibat terperangkapnya radiasi surya dalam kolektor yang dibatasi oleh plat dan kaca bening tembus cahaya. Karena adanya transfer kalor tersebut maka suhu air di dalam pipa yang ditimpa radiasi surya langsung akan lebih tinggi dibandingkan suhu air pada bagian pipa yang lain. Perbedaan suhu air di dalam pipa ini akan menimbulkan adanya perbedaan massa jenis dari air, dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga memiliki kecenderungan untuk bergerak ke posisi yang lebih tinggi, demikian pula air di dalam pipa yang memiliki suhu lebih rendah memiliki massa jenis yang lebih besar dan cenderung untuk bergerak ke bawah sehingga terjadi peristiwa konveksi secara alami.



Gambar 1. Skema sistem kolektor surya prismatik

2. Landasan Teori

2.1 Terminologi Parameter Sudut Matahari

Besar intensitas radiasi matahari langsung yang jatuh pada luasan bidang di permukaan bumi ditentukan berdasarkan parameter-parameter sebagai berikut :

- Sudut Lintang, ϕ . Adalah sudut lokasi bidang di permukaan bumi terhadap ekuator bumi dimana untuk arah ke utara diberi tanda positif. Nilai untuk sudut lintang ini : $-90 \leq \phi \leq 90$ (untuk kota Surabaya $\phi = 7^\circ$).
- Sudut kemiringan, β , adalah sudut antara permukaan bidang yang dimaksud terhadap horisontal ; $0 \leq \beta \leq 180^\circ$.
- Sudut deklinasi matahari, δ , merupakan sudut kemiringan bumi terhadap matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi - matahari; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$. Menurut Copper (1969), sudut deklinasi matahari dinyatakan dengan persamaan :

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \frac{284+n}{365} \right] \quad 2.1$$

dimana n menyatakan nomor urut hari dalam satu tahun yang diawali dengan nomor urut 1 untuk tanggal 1 Januari.

- Sudut Jam Matahari, ω , adalah pergeseran sudut dari matahari ke arah timur/barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada sumbunya. Besar pergeseran sudut tersebut 15° tiap jam .
- Sudut ketinggian matahari, α , adalah sudut antara radiasi langsung dari matahari dengan bidang horisontal yang ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sin \alpha = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad 2.2$$

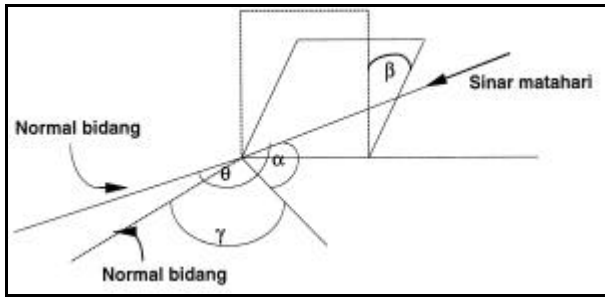
- Sudut Zenith, θ_z , adalah sudut antara radiasi langsung dari matahari dengan garis normal bidang horisontal, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\sin \theta_z = \sec \alpha \cos \delta \sin \omega \quad 2.3$$

- Sudut datang matahari, θ , yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan bidang terhadap normal bidang tersebut.

$$\cos \theta = \cos \alpha \cos \gamma \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta \quad 2.4$$

Hubungan antara masing-masing parameter sudut matahari tersebut ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Parameter Sudut Matahari Terhadap Permukaan Bidang

2.2 Koefisien Perpindahan Kalor Total

Koefisien perpindahan kalor bagian atas kolektor dinyatakan oleh persamaan 2.5 dengan terlebih dahulu menentukan suhu plat rata-rata melalui proses iterasi.

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left\{ \frac{(T_{pm} - T_a)^e}{(N + f)} \right\}} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591N \cdot h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133\epsilon_p - N}{\epsilon_g}} \right]^{-1}$$

dimana :

- N = Jumlah kaca penutup.
- f = (1 + 0,089h_w - 0,1166h_w · ε_p)(1 + 0,07866N)
- C = 520(1 - 0,00005β²) untuk 0° ≤ β ≤ 70° dan untuk 70° ≤ β ≤ 90°, digunakan β = 70°.
- e = 0,43 (1 - $\frac{100}{T_m}$)
- β = Sudut kemiringan kolektor
- ε_g = Emisivitas kaca
- ε_p = Emisivitas plat
- T_a = Suhu lingkungan (K)
- T_{pm} = Suhu rata-rata plat penyerap kalor (K)
- h_w = Koefisien perpindahan kalor konveksi karena angin
= 2,8 + 3 V , dimana V = kecepatan angin (m/sec)
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann = 5,669 × 10⁻⁸ W/m² · K⁴ .

Rugi panas melalui bagian bawah kolektor terjadi karena adanya konveksi melalui lapisan isolasi dan selanjutnya konveksi serta radiasi ke lingkungan. Jika isolator kolektor cukup sempurna, maka aliran kalor ke bagian bawah kolektor dianggap melalau tahanan panas

isolator sehingga koefisien kehilangan kalor dari bagian bawah kolektor dapat dinyatakan dengan :

$$U_b = \frac{k}{L} \tag{2.6}$$

dimana k , adalah konduktivitas kalor dari isolator dan L , tebal isolator yang digunakan. Jadi, koefisien kehilangan kalor total dari kolektor melalui bagian atas dan bagian bawah dapat dirumuskan dengan :

$$U_L = U_t + U_b \tag{2.7}$$

Dalam melakukan perhitungan iterasi untuk menentukan suhu plat kolektor rata-rata dibutuhkan beberapa faktor sebagai berikut :

- Faktor efisiensi kolektor, F' yang merupakan rasio antara energi berguna *aktual* dan energi berguna sesungguhnya dan dinyatakan melalui persamaan :

$$F' = \left[1 + \frac{U_L}{h + \left[\left(\frac{1}{h} \right) + \left(\frac{1}{h_r} \right) \right]^{-1}} \right]^{-1} \tag{2.8}$$

dimana :

- h = koefisien perpindahan kalor di dalam pipa saluran tertutup.
= 100 W/m² K untuk kecepatan aliran yang kecil.
- h_r = $\frac{4\sigma\bar{T}^3}{(1/\epsilon_p) + (1/\epsilon_g) - 1}$; \bar{T} = suhu rata-rata fluida.

- Faktor pemindahan panas kolektor, F_R, menyatakan rasio antara energi yang berguna aktual dari kolektor terhadap energi berguna maksimum yang dapat diperoleh kolektor.

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p(T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c[S - U_L(T_{f,i} - T_a)]} \tag{2.9}$$

dimana :

- A_c = luas permukaan kolektor (m²)
- ṁ = laju aliran massa (kg/sec)
- T_a = suhu lingkungan (K)
- S = Intensitas radiasi matahari yang datang pada kolektor.

Energi berguna maksimum terjadi jika rugi kalor ke lingkungan sekecil mungkin. Hasil kali F_R dengan energi berguna maksimum merupakan *energi berguna aktual*, Q_u.

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{f,o} - T_{f,i}) = F_R A_c [S - U_L(T_{f,i} - T_a)] \tag{2.10}$$

Suhu plat kolektor rata-rata ditentukan melalui prosedur iterasi dengan menggunakan persamaan :

$$T'_{pm} = T_{f,i} + \frac{Q_u}{U_L F_R A_c} (1 - F_R) \quad 2.11$$

dengan mengasumsikan terlebih dahulu nilai awal suhu plat rata-rata dan dilakukan iterasi kemudian nilai yang dihasilkan dicek dengan persamaan 2.11 dan nilai tersebut digunakan lagi dalam proses iterasi untuk mencari nilai T'_{pm} yang baru, demikian selanjutnya sampai dihasilkan nilai dengan T'_{pm} yang baru sekecil mungkin.

Efisiensi per jam dari kolektor dinyatakan dengan persamaan :

$$\eta_{jam} = \frac{Q_u}{S.A_c} \quad 2.12$$

Sedangkan efisiensi harian kolektor dinyatakan dengan :

$$\eta_{harian} = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum S} \quad 2.13$$

2.3 Aliran Fluida Dalam Pipa

Untuk menentukan jenis aliran dalam fluida yang dibedakan menjadi *aliran laminar* dan *aliran turbulen*, digunakan *bilangan Reynold* yang dirumuskan dengan :

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad 2.14$$

dimana :

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

\bar{V} = kecepatan rata-rata aliran fluida dalam pipa (m/sec)

μ = viskositas fluida (kg / m.sec)

D = diameter dalam pipa (m)

Jika $Re < 2300$, maka aliranannya dikatakan laminar, sedangkan jika $Re > 2300$ aliranannya turbulen. Agar terjadi peristiwa konveksi alami di dalam pipa sirkulasi pada kolektor, diharapkan alirannya laminar.

2.4 Kerugian Tekanan Aliran Dalam Pipa

□ Kerugian Mayor

Kerugian tekanan yang diakibatkan karena adanya gesekan dan dinyatakan dengan persamaan:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad 2.15$$

dimana :

f = faktor gesekan

L = panjang pipa (m)

Faktor gesekan, f, untuk aliran laminar dalam pipa tidak tergantung pada kekasaran pipa, dan dinyatakan dengan persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \quad 2.16$$

Sedangkan untuk aliran turbulen dalam pipa, faktor gesekan dipengaruhi oleh kekasaran pipa, sehingga f merupakan fungsi dari kekasaran relatif pipa ϵ/D dan bilangan Reynold. Jadi untuk menentukan faktor gesekan f, harus diketahui jenis pipa yang digunakan sehingga dapat diketahui nilai ϵ/D bahan tersebut, dan selanjutnya dari diagram Moody dapat diketahui faktor gesekannya.

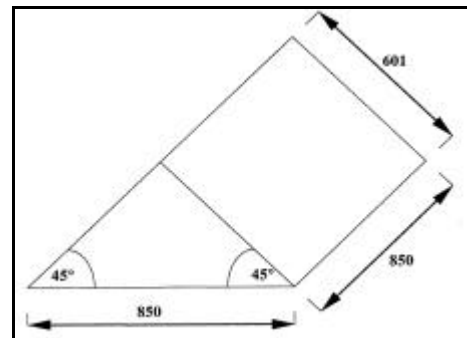
□ Kerugian Minor.

Merupakan kerugian tekanan yang diakibatkan perubahan luas penampang pipa dan asesoris yang digunakan. Besar kerugian tersebut dinyatakan dengan persamaan :

$$h_e = k \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad 2.17$$

3. Desain Peralatan

Sebagai acuan awal untuk menentukan bentuk geometris dari kolektor digunakan pendekatan bahwa pada jam 09.00 pagi dan jam 15.00 siang, sudut ketinggian matahari yang jatuh pada permukaan bidang horisontal di bumi adalah sebesar 45°. Dengan acuan tersebut maka bagian sisi dari prisma dimiringkan sebesar 45° terhadap horisontal (gambar 3).



Gambar 3. Bentuk Geometris dan Dimensi Plat Kolektor

□ Bahan Dan Komponen :

- Plat absorpsi : digunakan plat seng dengan ketebalan 0,5 mm dan dicat dengan warna hitam pudar. Luas total plat absorpsi 1,383 m².
- Pipa kolektor : digunakan bahan aluminium dengan diameter luar (Do) = 12 mm dan diameter dalam (Di) = 10 mm dengan panjang total 10,38 m. Jumlah lilitan = 4, dengan jarak antar lilitan = 11 cm dan jarak dari permukaan plat 2,5 cm. Beda ketinggian pipa keluaran dan masukan 40 cm. Dari perhitungan didapatkan bahwa head loss total pada pipa adalah 1,176 . 10⁻² m sedangkan termosiphon head 1,34 . 10⁻² m. Karena termosiphon head > head loss total pada pipa, maka efek termosiphon dapat berjalan dengan baik sehingga konveksi alami dalam pipa dapat berlangsung.
- Kaca Penutup: digunakan jenis kaca bening dengan ketebalan 3 mm dan transmisivitas 92 % dan jarak antara kaca terhadap pipa 2,5 cm.
- Tangki air : Diameter 30 cm dan volume = 20 liter.
- Bahan isolator:
 - Styrofoam dengan density 27 kg/m³ untuk isolator bagian bawah plat.
 - Glasswool, dengan density 24 kg/m³ untuk mengisolir tangki.
- Pengukur Suhu: Termokopel (tembaga-konstantan) untuk mengukur suhu air masuk dan keluar dari pipa.

4. Pengujian Sistem dan Analisa Data

4.1 Prosedur Percobaan

Lokasi pengujian dilaksanakan pada lahan terbuka di belakang ruang laboratorium konversi energi. Pengambilan data dilakukan setiap jam mulai jam 09.00 sampai dengan jam 16.00.

1. Menempatkan kolektor dengan bagian luasan 4- persegi panjangnya masing-masing tepat menghadap ke arah timur dan barat, sedangkan bagian luasan segi-tiganya masing-masing menghadap tepat ke arah utara dan selatan.
2. Memasukkan air ke dalam tangki yang terisolasi.
3. Mengukur dan mencatat perubahan suhu yang terjadi setiap jam, masing-masing suhu air masuk dan keluar pipa sirkulasi dan suhu lingkungan sekitar.

4. Data intensitas radiasi matahari diukur dengan solarimeter, dan pengukuran dilaksanakan di kampus I T S.
5. Menggeser posisi kolektor, sehingga bagian luasan yang menghadap ke timur bergeser 15°, 30° dan 45° ke arah utara dan dilakukan pada tanggal yang berbeda tetapi kondisi lingkungan yang mendekati sama.

4.1 Prosedur Percobaan

Tabel 1. Posisi Normal

Jam	T _i (°C)	T _a (°C)	T _e (°C)	S (W/m ²)	Q _a (W/m ²)	η/jam (%)
09 - 10	32,5	39	34	672	599,7	64,5
10 - 11	34	60,5	33	612	526,3	62,2
11 - 12	35,5	61	32,5	667	573,2	62,1
12 - 13	37,5	61	33	639	541,8	61,3
13 - 14	39	60,5	33,5	618	519	60,7
14 - 15	38	57	33,5	556	468,3	60,9
15 - 16	36	46,5	32,5	415	344,2	60

Tabel 2. Posisi Kolektor Bergeser 15°

Jam	T _i (°C)	T _a (°C)	T _e (°C)	S (W/m ²)	Q _a (W/m ²)	η/jam (%)
09 - 10	30,8	57	33	612	543,7	64,2
10 - 11	32	59,5	33,5	673	592,5	63,7
11 - 12	33,5	63	33,5	606	527,9	63
12 - 13	35,5	61,5	33	642	567,7	63,9
13 - 14	37,5	64	33	632	536,2	61,4
14 - 15	38	61,5	32,5	577	485,4	60,8
15 - 16	35,4	53	31,5	455	384,4	61,1

Tabel 3. Posisi Kolektor Bergeser 30°

Jam	T _i (°C)	T _a (°C)	T _e (°C)	S (W/m ²)	Q _a (W/m ²)	η/jam (%)
09 - 10	33	52,1	31	592	501,6	61,3
10 - 11	35	56,5	33	631	538,1	61,7
11 - 12	37	55,5	34	650	549,6	61,1
12 - 13	39	55	33,5	687	581,5	61,2
13 - 14	40	58,5	33,5	605	496,3	59,3
14 - 15	40	56,5	33	530	427,7	58,4
15 - 16	36	49,3	32	427	351,1	59,5

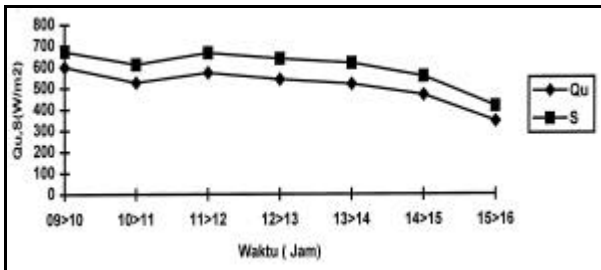
Tabel 4. Posisi Kolektor Bergeser 45°

Jam	T _i (°C)	T _a (°C)	T _e (°C)	S (W/m ²)	Q _a (W/m ²)	η/jam (%)
09 - 10	33	51	34	581	500,4	62,2
10 - 11	34	57,5	34	632	543,8	62,2
11 - 12	36	57,5	34	640	546,4	61,7
12 - 13	37,8	59	34	647	549,4	61,4
13 - 14	38,5	60	33	581	481,6	59,9
14 - 15	37,6	57	32	527	434,6	59,6
15 - 16	34,3	52	30	382	316,8	60

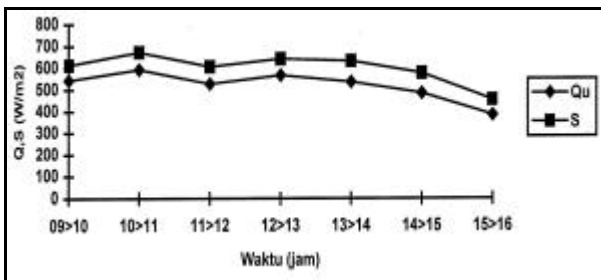
Tabel 5. Efisiensi Harian Kolektor

Posisi kolektor	Efisiensi (%)
Normal	61,8
Bergeser 15°	62,6
Bergeser 30°	61,1
Bergeser 45°	60,4

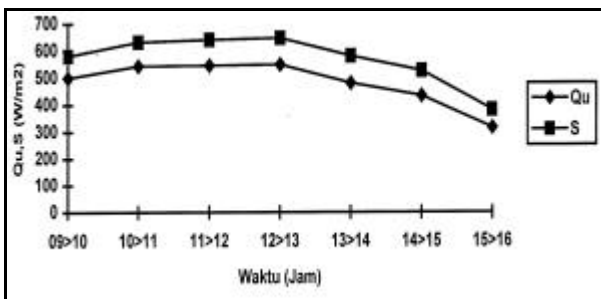
4.3 Analisa Data



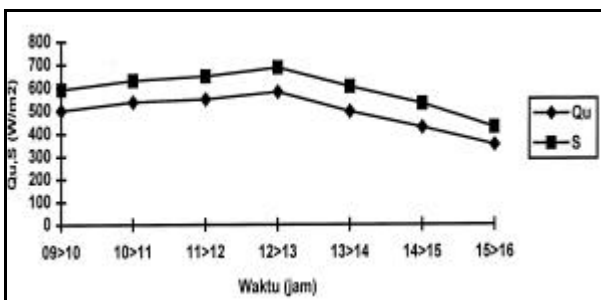
Gambar 4. Grafik Energi Berguna Aktual (Q_u) dan Intensitas Radiasi (S) Terhadap Waktu pada Posisi Normal



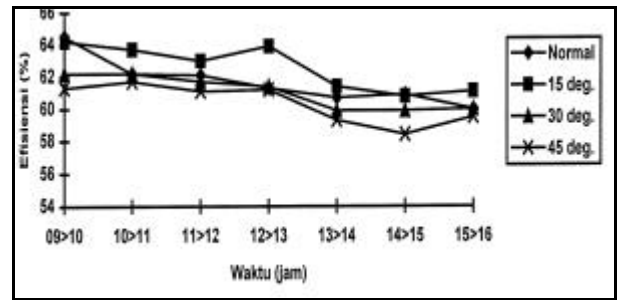
Gambar 5. Grafik Energi Berguna Aktual (Q_u) dan Intensitas Radiasi (S) Terhadap Waktu pada Posisi Kolektor Bergeser 15°



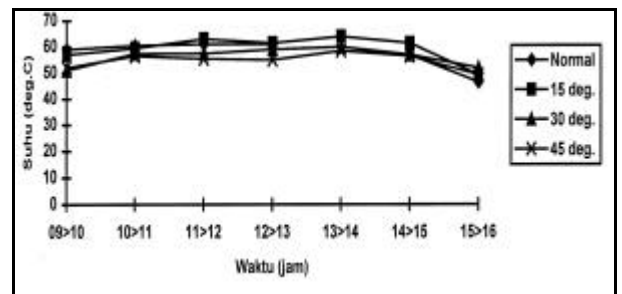
Gambar 6. Grafik Energi Berguna Aktual (Q_u) dan Intensitas Radiasi (S) Terhadap Waktu pada Posisi Kolektor Bergeser 30°



Gambar 7. Grafik Energi Berguna Aktual (Q_u) dan Intensitas Radiasi (S) Terhadap Waktu pada Posisi Kolektor Bergeser 45°



Gambar 8. Grafik Efisiensi Kolektor Terhadap Waktu untuk Masing-masing Posisi Kolektor



Gambar 9. Grafik Suhu Keluaran Terhadap Waktu untuk Masing-masing Posisi Kolektor

- Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4 sampai dengan gambar 7 terdapat suatu kecenderungan bahwa energi berguna aktual sejak pukul 14.00 semakin menurun seiring dengan menurunnya intensitas radiasi yang datang ke permukaan kolektor. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa energi berguna aktual (Q_u) pada dasarnya merupakan fungsi dari intensitas radiasi yang datang ke permukaan kolektor (S) sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 2.10.
- Pada grafik dalam gambar 8 ditunjukkan bahwa efisiensi tertinggi kolektor terjadi pada jam 12.00 - 13.00 dengan posisi kolektor dimiringkan sebesar 15° ke utara, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada jam 14.00 - 15.00 pada saat posisi kolektor dimiringkan 45° . Hal ini terutama diakibatkan karena pergeseran posisi matahari terhadap permukaan bumi dalam suatu kurun waktu tertentu, sehingga posisi matahari yang tepat ke arah timur tidak selalu dapat dinyatakan sebagai posisi terbitnya sang surya di pagi hari. Semakin besar pergeseran posisi kolektor terhadap sinar matahari datang pada pagi hari akan semakin menurunkan efisiensi dari kolektor.
- Dari grafik pada gambar 9 ditunjukkan bahwa suhu keluaran tertinggi dicapai pada jam 13.00 - 14.00 dan menurun semakin mendekati sore hari. Hal ini

diakibatkan karena bagian sebelah barat dari lokasi dimana pengukuran dilaksanakan radiasi matahari yang datang tidak dapat langsung jatuh pada kolektor karena terhalang oleh bangunan yang tinggi, sehingga kolektor hanya memanfaatkan radiasi difus dari matahari.

5. Kesimpulan

1. Dalam pemanfaatan kolektor surya, energi berguna aktual yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air sangat tergantung pada intensitas radiasi lokasi setempat yang datang pada permukaan kolektor.
2. Untuk mengoptimalkan efisiensi dari kolektor tergantung pada posisi kolektor yang berkaitan dengan arah radiasi langsung yang jatuh ke permukaan kolektor disamping menghindari adanya hambatan yang menghalangi jatuhnya radiasi langsung ke permukaan kolektor.

Daftar Pustaka

1. Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Energy Thermal Process*. New York: John Willey & Sons, 1974.
2. Duffie, J.A., Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Process*. New York: John Willey & Sons, Inc, 1991.
3. Incopera, F.P., Dewitt, D.P. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. New York : Mcgraw-Hill Book, 1978.
4. Kreith, F., Kreider, J.F., *Principles of Solar Engineering*. New York: Harper & Row Publisher, 1973
5. Messel, H., Butler, S.T., *Solar Energy*. New York: Pergamon Press, 1975.