

## ***SOLAR WATER HEATER MODELING SYSTEM***

### **TUGAS AKHIR**

**Nomor : 287 / FT\_USD / TM / Januari / 2003**

**diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Mesin**



**Oleh :**  
**Roni Yulianto**

**NIM : 995214155**

**NIRM : 990051123109120155**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SANATA DHARMA**  
**YOGYAKARTA**  
**2003**

## HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

### TUGAS AKHIR **SOLAR WATER HEATER MODELING SYSTEM**

Oleh :

RONI YULIANTO  
NIM : 995214155  
NIRM : 990051123109120155

Telah disetujui oleh :

Dosen Pembimbing Utama



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Tanggal : 22 Maret 2003

Dosen Pembimbing Kedua



Ir. YB. Lukiyanto, M.T.

Tanggal : 22 Maret 2003

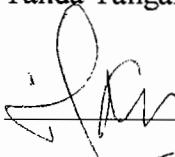
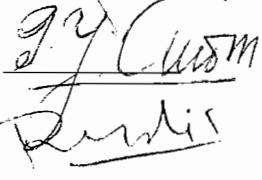
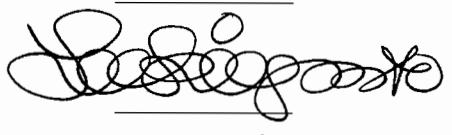
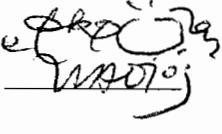
HALAMAN PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR  
**SOLAR WATER HEATER MODELING SYSTEM**

Oleh :

RONI YULIANTO  
NIM : 995214155  
NIRM : 990051123109120155

Telah dipertahankan di depan panitia penguji  
pada tanggal : 21 Maret 2003  
dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan panitia penguji

	Nama Lengkap	Tanda Tangan
Ketua	Ir. Greg. Harjanto	
Sekretaris	Ir. PJ. Soedarjana	
Anggota	Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.	
Anggota	Ir. YB. Lukiyanto, M.T.	
Anggota	Ir. PK. Purwadi, M.T.	

Yogyakarta, 22 Maret 2003

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Dekan,

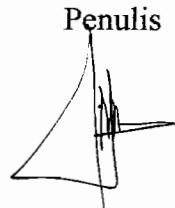


Ir. Greg. Harjanto

## **PERNYATAAN KEASLIAN KARYA**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya yang saya tulis ini tidak memuat karya/bagian orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam kutipan dan daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 22 Maret 2003

Penulis  


Roni Yulianto  
NIM : 995214155



**TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN**

Nomor : 287 FT USD TM - Januari - 2003

Diberikan kepada : :

Nama Mahasiswa : Roni Yulianto  
Nomor Mahasiswa : 995214155  
NIRM : 990051123109120155  
Jurusan : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Matakuliah : Radiasi Thermal  
Judul : naskah soal :  
Pemodelan Sistem Pemanas Air Surya

Tanggal dimulai : 3 Pebruari 2003

Dosen Pembimbing Kedua

Yogyakarta, 13 Januari 2003  
Dosen Pembimbing Utama

( Ir. F.A. Rusdi Sambada, M.T. )



**LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR**

Nomor : 287 / FT\_USD / TM / Januari / 2003

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Roni Yulianto

Nomor Mahasiswa : 995214155

NIRM : 990051123109120155

Jurusan : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Matakuliah : Radiasi Thermal

Judul / naskah soal :

Pemodelan Sistem Pemanas Air Surya

Tanggal dimulai : 3 Februari 2003

Pembimbing Utama : Ir. F.A. Rusdi Sambada,M.T.

Pembimbing Kedua :

NO	TGL.	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	24/1 '03	Temperatur Storage Tank		Rusdi
2	27/1 '03		- Merevisi kalkulasi Ib. - Menyelesaikan Bab 3.	Rusdi
3	5/2 '03		- Temperatur Perat $T_p$	Rusdi
4	18/2 -03		- Revisi Bab 4.	Rusdi
5	24/2 -03		- $T_s$ & Q untuk * 2 section Storage Tank	Rusdi
6	3/3 -03	$T_{c,o}$ & Q berdasarkan $T_{c,o}$		Rusdi
7	7/3 -03	Pembahasan		Rusdi
8	13/3 -03	Pembahasan & kesimpulan		Rusdi

***ABSTRACT***  
***SOLAR WATER HEATER MODELING SYSTEM***

*Men need hot water for consumption bathing, washing and so on for others daily uses. In order to produce hot water, sometimes they use electric water heater or solar water heater. The following system of solar water heater are thermosyphon system, forced circulation system and drainback system.*

*Thermosyphon system is simpler than others and has good efficiency, forced circulation system is used to protect the water from freezing but has low efficiency. Because the disadvantages of forced circulation system, we can change it with drainback system. Drainback system uses compressed air to return the circulation water to the storage tank.*

*Thermosyphon system consists of a storage tank that located minimal 25 cm above the collector and water will circulate through natural convection, whenever the solar energy in the collector adds energy to the water in the collector leg and flow due to the density gradient. Thus, the hot water in the collector will pass through the storage tank and water in the storage tank that has normal temperature will flow to the collector and vice versa.*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkah dan kasihnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini merupakan syarat akhir bagi seorang mahasiswa Teknik Mesin untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin, yang mana Tugas Akhir ini harus dipertanggungjawabkan oleh mahasiswa tersebut dalam sebuah ujian Pendadaran Tugas Akhir untuk menentukan kelulusan mahasiswa yang bersangkutan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Papi-Mami tercinta yang selalu mengiringi penulis dengan doa dan yang menjadi sumber semangat dan motivasi bagi penulis.
2. Bapak Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. YB. Lukiyanto, M.T. selaku dosen Perpindahan Panas Dasar yang telah memberikan pengetahuan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. P.K. Purwadi, M.T. selaku dosen Perpindahan Panas Lanjut yang telah memberikan pengetahuan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Adhi Susilo, S.T., M.Sc. selaku dosen Mekanika Fluida Dasar yang telah memberikan pengetahuan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. D. Doddy Purwadianto, M.T. selaku dosen Kalkulus III yang telah memberikan pengetahuan yang sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin USD dan pihak-pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 22 Maret 2003

Penulis

## HALAMAN PERSEMPERBAHAN

*Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :*

- *Papi dan Mami tercinta yang selalu mengiringi penulis dengan doa dan kasih sayang*
- *Kakak tercinta yang selalu membimbing dan membantu penulis*
- *Adik dan keponakan tersayang*



*Salam Maria penuh rahmat Tuhan sertamu  
Terpujilah Engkau diantara wanita  
Dan terpujilah buah tubuh-Mu Yesus  
Santa Maria Bunda Allah  
Doakanlah kami yang berdosa ini  
Sekarang dan waktu kami mati  
Amin...*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA .....	iv
HALAMAN SOAL .....	v
HALAMAN KONSULTASI TUGAS AKHIR .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR GRAFIK .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. PEMANAS AIR SURYA TERMOSIFON	
A. Radiasi Surya S	
1. Permukaan Horisontal .....	6
2. Permukaan Miring	
a. Radiasi Sorotan $I_{bT}$ .....	7

b. Radiasi Sebaran $I_{dT}$ .....	9
c. Radiasi Pantulan $I_{rT}$ .....	9
<b>B. Kolektor Surya Pelat Rata</b>	
1. Efisiensi Sirip F .....	13
2. Koefisien Kerugian Panas Total $U_L$ .....	14
3. Faktor Efisiensi $F'$ .....	19
4. Faktor Pelepasan Panas $F_R$ .....	21
<b>C. Persamaan Prestasi Mesin .....</b>	<b>22</b>
<b>BAB III. PEMODELAN PEMANAS AIR SURYA TERMOSIFON</b>	
<b>A. Radiasi Surya S</b>	
1. Radiasi Sorotan $I_{bT}$ .....	25
2. Radiasi Sebaran $I_{dT}$ .....	25
3. Radiasi Pantulan $I_{rT}$ .....	26
<b>B. Koefisien Kerugian Panas Total <math>U_L</math></b>	
1. Koefisien Kerugian Atas $U_t$ .....	26
2. koefisien Kerugian Bawah $U_b$ .....	28
<b>C. Efisiensi Sirip F .....</b>	<b>28</b>
<b>D. Koefisien Konveksi Fluida <math>h</math> .....</b>	<b>28</b>
<b>E. Faktor Efisiensi <math>F'</math> .....</b>	<b>29</b>
<b>F. Faktor Pelepasan Panas <math>F_R</math> .....</b>	<b>29</b>
<b>G. Kalor Q .....</b>	<b>30</b>
<b>H. Temperatur Pelat Kolektor <math>T_p</math> .....</b>	<b>31</b>
<b>I. Temperatur Fluida Keluar dari Kolektor <math>T_{c,o}</math> .....</b>	<b>31</b>

J. Temperatur Fluida dalam Tangki Penyimpan Panas Ts .....	32
------------------------------------------------------------	----

## BAB IV. PEMBAHASAN

A. Radiasi Matahari S .....	56
B. Kalor yang Diperoleh Kolektor Qu .....	58
C. Kalor yang Hilang $Q_{env}$ .....	60
D. Kalor untuk Beban $Q_L$ .....	63
E. Temperatur Fluida dalam Tangki Penyimpan Panas TS .....	65
F. Temperatur Fluida Keluar dari Kolektor $T_{c,o}$ .....	67
G. Temperatur Pelat Kolektor $T_p$ .....	70
H. Temperatur Kaca $T_c$ .....	72
I. Pembahasan untuk kondisi Tangki Bertingkat	
1. Kondisi $A_c, m_s$ dan $\beta = 50^\circ$ .....	75
2. Kondisi $2A_c, 2m_s$ dan $\beta = 30^\circ$ .....	78

## BAB V. KESIMPULAN DAN PENUTUP

A. Kesimpulan .....	82
B. Penutup .....	84

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN - LAMPIRAN

## **DAFTAR GAMBAR**

1.	Gambar 1	:	Sistem Pemanas Air dengan Larutan Anti Beku .....	3
2.	Gambar 2	:	Sistem Aliran Balik dengan Air Lunak .....	3
3.	Gambar 3	:	Pemanas Air Termosifon .....	5
4.	Gambar 4	:	Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran .....	6
5.	Gambar 5	:	Radiasi sorotan setiap jam pada permukaan miring .....	7
6.	Gambar 6	:	Penentuan $\cos \theta_T$ .....	8
7.	Gambar 7	:	Komponen radiasi pada permukaan miring.....	10
8.	Gambar 8	:	Penampang lintang suatu pemanas cairan surya .....	12
9.	Gambar 9	:	Distribusi temperatur pelat penyerap dari tembaga.....	13
10.	Gambar 10	:	Kerugian panas kolektor .....	14
11.	Gambar 11	:	Tahanan perpindahan panas bagian atas kolektor .....	15
12.	Gambar 12	:	Aliran panas ke dalam cairan .....	19
13.	Gambar 13	:	Tangki Penyimpan Panas tak Bertingkat .....	24
14.	Gambar 14	:	Tangki Penyimpan Panas Bertingkat .....	24

## **DAFTAR GRAFIK**

1. Grafik 1 : Pemancaran dari 1–4 tutup.....	11
2. Grafik 2 : Koefisien konveksi alam $h_i$ dalam celah udara.....	16
3. Grafik 3 : Bil. Nusselt dalam pipa pendek untuk Berbagai Bil. Prandtl .....	20
4. Garfik 4 : Data radiasi matahari pada suatu daerah H .....	47
5. Grafik 5 : Radiasi sorotan $I_{bT}$ .....	47
6. Grafik 6 : Radiasi sebaran $I_{dT}$ .....	47
7. Grafik 7 : Radiasi pantulan $I_{rT}$ .....	48
8. Grafik 8 : Radiasi matahari total pada permukaan miring S .....	48
9. Grafik 9 : Kalor yang diperoleh kolektor $Q_U$ .....	48
10. Grafik 10 : Kalor yang hilang $Q_{env}$ .....	49
11. Grafik 11 : Kalor untuk fluida beban $Q_L$ .....	49
12. Grafik 12 : Temperatur kolektor $T_P$ .....	49
13. Grafik 13 : Temperatur kaca penutup $T_C$ .....	50
14. Grafik 14 : Temperatur fluida keluar kolektor $T_{C,O}$ .....	50
15. Grafik 15 : Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas $T_S$ .....	50
16. Grafik 16 : Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas tingkat 1 $T_{S,1}$ .....	51
17. Grafik 17 : Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas tingkat 2 $T_{S,2}$ .....	51

18. Grafik 18 : Temperatur fluida keluar kolektor $T_{C,O}$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	51
19. Grafik 19 : Temperatur fluida keluar kolektor $T_{C,O}$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	52
20. Grafik 20 : Temperatur fluida pada tangki penyimpan $T_S$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	52
21. Grafik 21 : Temperatur fluida pada tangki penyimpan $T_S$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	52
22. Grafik 22 : Kalor yang diperoleh kolektor $Q_U$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	53
23. Grafik 23 : Kalor yang diperoleh kolektor $Q_U$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	53
24. Grafik 24 : Kalor yang hilang $Q_{env}$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	53
25. Grafik 25 : Kalor yang hilang $Q_{env}$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	54
26. Grafik 26 : Kalor untuk beban $Q_L$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	54
27. Grafik 27 : Kalor untuk beban $Q_L$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	54
28. Grafik 28 : Perubahan energi $\Sigma Q$ (kondisi Ac, $m_S$ dan $\beta=50^\circ$ ) .....	55
29. Grafik 29 : Perubahan energi $\Sigma Q$ (kondisi 2Ac, $2m_S$ dan $\beta=30^\circ$ ) .....	55
30. Grafik 30 : Pengaruh $\beta$ terhadap $S$ .....	56
31. Grafik 31 : Pengaruh $\beta$ terhadap $I_{bT}$ .....	57
32. Grafik 32 : Pengaruh $\beta$ terhadap $I_{rT}$ .....	57
33. Grafik 33 : Pengaruh $\beta$ terhadap $I_{dT}$ .....	57
34. Grafik 34 : Pengaruh Ac terhadap $Q_U$ .....	58

35. Grafik 35 : Pengaruh $m_S$ terhadap $Q_U$ .....	58
36. Grafik 36 : Pengaruh Ac dan $m_S$ terhadap $Q_U$ .....	59
37. Grafik 37 : Pengaruh $\beta$ terhadap $Q_U$ .....	59
38. Grafik 38 : Pengaruh Ac, $m_S$ dan $\beta$ terhadap $Q_U$ .....	60
39. Grafik 39 : Pengaruh Ac terhadap $Q_{env}$ .....	61
40. Grafik 40 : Pengaruh $m_S$ terhadap $Q_{env}$ .....	61
41. Grafik 41 : Pengaruh Ac dan $m_S$ terhadap $Q_{env}$ .....	61
42. Grafik 42 : Pengaruh $\beta$ terhadap $Q_{env}$ .....	62
43. Grafik 43 : Pengaruh Ac, $m_S$ dan $\beta$ terhadap $Q_{env}$ .....	63
44. Grafik 44 : Pengaruh Ac terhadap $Q_L$ .....	63
45. Grafik 45 : Pengaruh $m_S$ terhadap $Q_L$ .....	63
46. Grafik 46 : Pengaruh Ac dan $m_S$ terhadap $Q_L$ .....	64
47. Grafik 47 : Pengaruh $\beta$ terhadap $Q_L$ .....	64
48. Grafik 48 : Pengaruh Ac, $m_S$ dan $\beta$ terhadap $Q_L$ .....	65
49. Grafik 49 : Pengaruh Ac terhadap $T_s$ .....	65
50. Grafik 50 : Pengaruh $m_S$ terhadap $T_s$ .....	66
51. Grafik 51 : Pengaruh Ac dan $m_S$ terhadap $T_s$ .....	66
52. Grafik 52 : Pengaruh $\beta$ terhadap $T_s$ .....	67
53. Grafik 53 : Pengaruh Ac, $m_S$ dan $\beta$ terhadap $T_s$ .....	67
54. Grafik 54 : Pengaruh Ac terhadap $T_{C,O}$ .....	68
55. Grafik 55 : Pengaruh $m_S$ terhadap $T_{C,O}$ .....	68
56. Grafik 56 : Pengaruh Ac dan $m_S$ terhadap $T_{C,O}$ .....	69
57. Grafik 57 : Pengaruh $\beta$ terhadap $T_{C,O}$ .....	69

58. Grafik 58 : Pengaruh $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$ terhadap $T_{C,O}$ .....	70
59. Grafik 59 : Pengaruh $A_c$ terhadap $T_p$ .....	70
60. Grafik 60 : Pengaruh $m_s$ terhadap $T_p$ .....	71
61. Grafik 61 : Pengaruh $A_c$ dan $m_s$ terhadap $T_p$ .....	71
62. Grafik 62 : Pengaruh $\beta$ terhadap $T_p$ .....	72
63. Grafik 63 : Pengaruh $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$ terhadap $T_p$ .....	72
64. Grafik 64 : Pengaruh $A_c$ terhadap $T_C$ .....	73
65. Grafik 65 : Pengaruh $m_s$ terhadap $T_C$ .....	73
66. Grafik 66 : Pengaruh $A_c$ dan $m_s$ terhadap $T_C$ .....	73
67. Grafik 67 : Pengaruh $\beta$ terhadap $T_C$ .....	74
68. Grafik 68 : Pengaruh $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$ terhadap $T_C$ .....	74
69. Grafik 69 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $T_{C,O}$ .....	75
70. Grafik 70 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $T_s$ .....	75
71. Grafik 71 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_u$ .....	76
72. Grafik 72 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_{env}$ .....	77
73. Grafik 73 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_L$ .....	77
74. Grafik 74 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $\Sigma Q$ .....	78
75. Grafik 75 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $T_{C,O}$ .....	78
76. Grafik 76 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $T_s$ .....	79
77. Grafik 77 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_u$ .....	79
78. Grafik 78 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_{env}$ .....	80
79. Grafik 79 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $Q_L$ .....	80
80. Grafik 80 : Pengaruh tingkatan tangki penyimpan terhadap $\Sigma Q$ .....	81

## **DAFTAR TABEL**

1. Tabel 1 : Data Radiasi dalam 1 hari .....	L1
2. Tabel 2 : Konduktivitas Termal beberapa bahan kolektor .....	L2
3. Tabel 3 : Sifat-sifat bahan logam .....	L3
4. Tabel 4 : Sifat-sifat bahan bukan logam .....	L4
5. Tabel 5 : Emisivitas Total Normal berbagai permukaan .....	L5
6. Tabel 6 : Faktor konstan $a_i$ .....	L6

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Dewasa ini, biaya penggunaan energi listrik mempunyai kecenderungan terus meningkat sehingga kita dituntut untuk berusaha mencari sumber energi alternatif yang dapat menggantikan fungsi listrik. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah energi matahari, yang mana kita bisa mendapatkan dan menggunakannya dengan cuma-cuma karena tersedia di alam bebas. Apalagi energi matahari di negara kita tersedia berlimpah ruah, karena kita hanya mempunyai 2 musim saja, yaitu musim panas dan musim hujan. Beberapa contoh pemanfaatan energi matahari ini adalah sebagai pemanas air/udara, untuk destilasi air, untuk mobil tenaga matahari.

Air panas dalam jumlah yang besar diperlukan untuk proses-proses industri, penatu dan kebutuhan rumah tangga, air panas ini dapat disediakan langsung dengan menggunakan energi surya. Pemanas air tenaga matahari ini bekerja dengan prinsip energi/panas dari matahari akan diterima oleh sebuah pelat (kolektor), temperatur kolektor akan naik dan menaikkan temperatur fluida yang melewatinya, kemudian fluida yang telah dipanasi tersebut mengalir menuju tangki penyimpan panas (disini panas bisa langsung dipakai atau disimpan untuk beberapa waktu). Untuk menggunakan panas tersebut, maka air yang akan kita gunakan kita alirkan ke tangki penyimpan panas, sehingga temperaturnya air

tersebut akan naik karena terjadi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi dari panas yang ada dengan air yang mengalir tersebut.

Beberapa sistem pemanas air surya yang digunakan adalah :

### 1. Sistem Termosifon

Kesederhanaan pemanas air termosifon menghasilkan suatu sistem yang efisien dan terpercaya, sehingga solusi bagi persamaan prestasi termal dapat diperoleh dalam bentuk tertutup.

Sistem ini yang akan dipakai oleh penulis dan akan diuraikan dalam bab II.

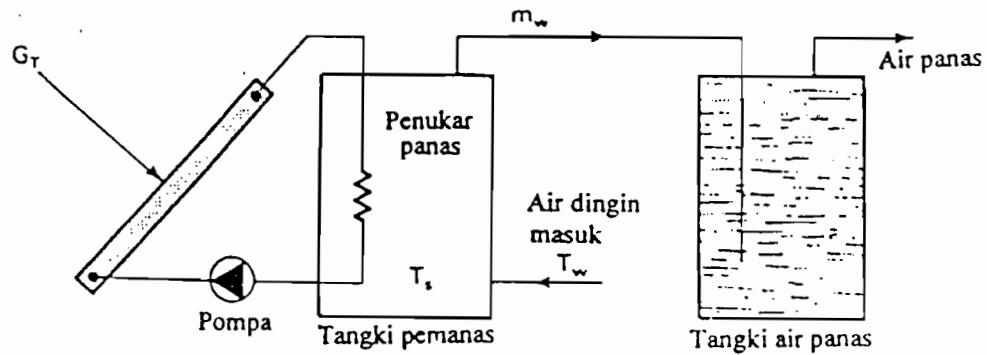
### 2. Sistem Sirkulasi Paksa

Sistem ini digunakan apabila diperlukan perlindungan terhadap pembekuan, sehingga larutan anti beku (misal Glikol-Air) dapat disirkulasikan melalui kolektor-kolektor tersebut dan panas yang diserap dipindahkan ke air di dalam tangki penyimpan dengan menggunakan sebuah penukar panas. Penukar panas ini akan mengurangi efisiensi sistem pemanas air.

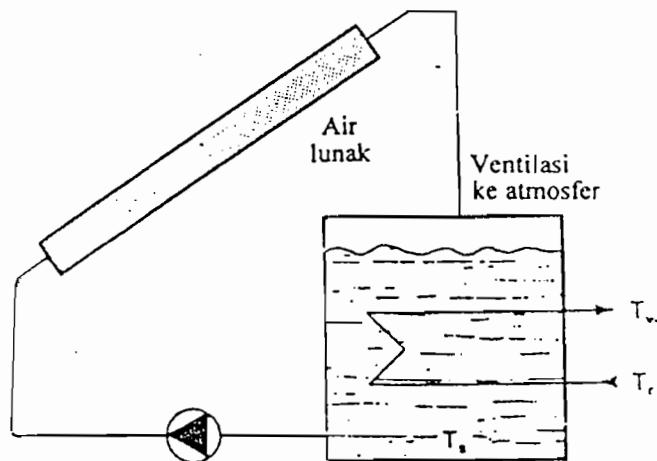
Apabila larutan anti beku yang dipakai itu beracun, maka diperlukan penukar panas yang dibuat dengan dinding rangkap dua.

### 3. Sistem Aliran Balik (*Drainback System*)

Sistem ini menggunakan udara tekan untuk mengembalikan air yang bersirkulasi melalui kolektor ke tangki penyimpan. Udara tekan tersebut dapat dipasok oleh sebuah kompresor untuk penyemprotan cat yang kecil, sedang air yang disirkulasikan adalah air minum biasa. Sehingga dalam hal ini tidak diperlukan penukar panas. Air dipasok dari tangki pemanas awal (*preheated tank*) ke pemanas air-panas biasa sesuai dengan yang diperlukan.



Gambar 1. Sistem pemanas air dengan larutan anti beku  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 120)



Gambar 2. Sistem aliran balik dengan air lunak  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 128)

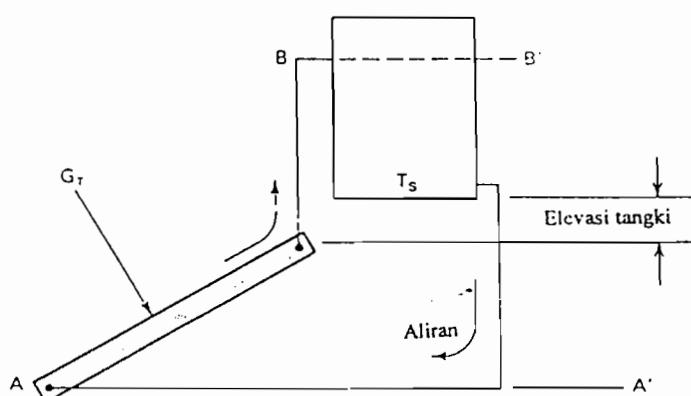
Pemodelan sistem pemanas air surya ini bertujuan sebagai praperancangan, yaitu untuk melihat pengaruh perubahan luas pelat kolektor ( $A_c$ ), massa air dalam tangki penyimpan ( $m_s$ ) dan sudut kemiringan kolektor ( $\beta$ ) terhadap temperatur air dalam tangki penyimpan ( $T_s$ ), kalor yang diserap kolektor ( $Q_u$ ), kalor yang hilang ( $Q_{env}$ ) dan kalor yang untuk beban ( $Q_L$ ) yang dihasilkan oleh pemanas air surya. Sehingga dari simulasi pengaruh perubahan variabel-variabel tersebut, diharapkan hasilnya dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pembuatan pemanas air surya.

## BAB II

### PEMANAS AIR SURYA TERMOSIFON

Pemanas air surya termosifon merupakan sistem konversi energi surya yang paling sederhana dan paling efektif. Sistem ini hanya terdiri atas sebuah tangki penyimpan panas yang ditempatkan lebih tinggi pada jarak paling sedikit 25 cm di atas kolektor.

Termosifon diciptakan oleh perbedaan massa jenis antara fluida dalam kolom AB dan fluida dalam kolom A'B'. Apabila fluida dalam kolektor (kolom AB) dipanasi oleh matahari, maka massa jenisnya akan turun dan apabila perbedaan massa jenis antara kolom AB dan A'B' telah cukup untuk mengatasi tinggi gesekan dari sistem, maka terjadilah suatu sirkulasi searah jarum jam. Air hangat dari kolektor dipindahkan ke tangki penyimpan dan diganti oleh air yang lebih dingin dari dasar tangki.



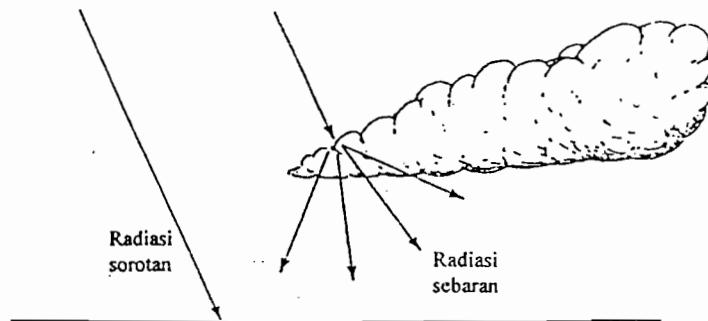
Gambar 3. Pemanas Air Termosifon  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 115)

Sirkulasi berlanjut sampai seluruh sistem kira-kira mencapai temperatur yang uniform. Gerakan sirkulasi ini tidak memerlukan sensor temperatur, alat-alat kontrol dan pompa sirkulasi serta motor.

## A. RADIASI SURYA

### 1. Permukaan Horisontal

Radiasi surya yang tersedia di luar atmosfer bumi (radiasi global,  $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ ) dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi, oleh ozon disebut radiasi sorotan ( $I_b$ ) sedangkan oleh molekul-molekul gas, debu dan uap air dalam atmosfer disebut radiasi sebaran ( $I_d$ ).



Gambar 4. Radiasi sorotan dan radiasi sebaran  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 18)

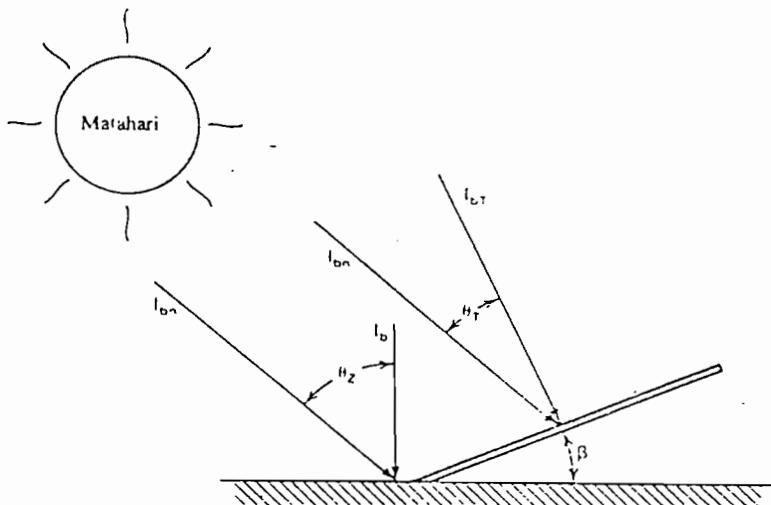
Radiasi sorotan  $I_b$  diperoleh dari selisih antara pengukuran radiasi total dan sebaran untuk suatu lokasi tertentu, sehingga radiasi total pada permukaan horisontal ( $I$ )<sup>1)</sup>:

<sup>1)</sup> W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 19

## 2. Permukaan Miring

### a. Radiasi langsung/sorotan ( $I_{bT}$ )

Radiasi sorotan  $I_{bT}$  diperoleh dengan mengubah radiasi sorotan  $I_b$  pada permukaan horisontal menjadi masuk normal  $I_{bn}$  dengan menggunakan sudut zenit ( $\theta_z$ ) dan kemudian mendapatkan radiasi pada permukaan miring dengan menggunakan sudut masuk ( $\theta_T$ ).



Gambar 5. Radiasi sorotan setiap jam pada permukaan miring dari pengukuran  $I_b$   
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 31)

Radiasi sorotan per jam pada sudut masuk normal  $I_{bn}$  adalah<sup>2)</sup> :

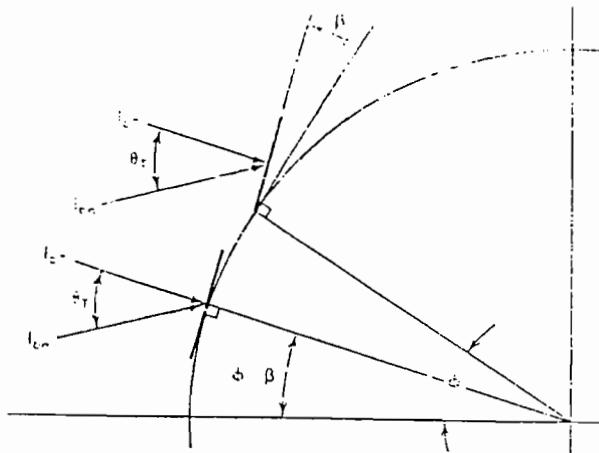
$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \quad \dots \dots \dots \quad (2-2)$$

dengan demikian, radiasi sorotan  $I_{bT}$  untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut  $\beta$  terhadap bidang horisontal adalah<sup>3)</sup> :

$$I_{bT} = I_{bn} \cdot \cos \theta_T = I_b \cdot \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \quad \dots \dots \dots \quad (2-3)$$

<sup>2)</sup> Ibid hal 30

<sup>3)</sup> Ibid hal. 31



Gambar 6. Penentuan  $\cos \theta_T$   
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 32)

Persamaan untuk sudut masuk  $\theta_T$  adalah<sup>4)</sup> :

$$\cos \theta_T = (\sin \delta \cdot \sin(\phi - \beta)) + (\cos \delta \cdot \cos(\phi - \beta) \cdot \cos \omega) \dots\dots\dots(2-4)$$

dengan persamaan sudut deklinasi  $\delta$ <sup>5)</sup>:

$$\delta = (23,45) \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \dots\dots\dots(2-5)$$

dan persamaan sudut zenit  $\theta_z$ <sup>6)</sup> :

$$\cos \theta_z = (\sin \delta \cdot \sin \phi) + (\cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) \dots\dots\dots(2-6)$$

n : hari dari tahun yang bersangkutan

φ : posisi garis lintang suatu lokasi/daerah

ω : sudut jam, sama dengan  $0^\circ$  pada tengah hari surya dan positif  
untuk pagi hari ( $15^\circ$  per jam)

<sup>4)</sup> Ibid hal. 32

<sup>5)</sup> Ibid hal. 28

<sup>6)</sup> Ibid hal. 27

b. Radiasi sebaran ( $I_{dR}$ )

Dengan asumsi bahwa radiasi sebaran didistribusikan secara merata pada hemisfer langit (distribusi isotropik), maka radiasi pada permukaan miring dapat dinyatakan dengan persamaan<sup>7)</sup>:

distribusi isotropik dianggap dapat mengakibatkan kesalahan RMS (*Root Mean Square*) sebesar  $\pm 18\%$  dari besarnya radiasi total per jam untuk sejumlah lokasi tertentu, karena itu Hay menyatakan radiasi sebaran pada permukaan miring dengan persamaan (distribusi anisotropik)<sup>8)</sup>:

$$I_{dT} = I_d \cdot \left[ \left( \frac{I_b}{I_{sc} \cdot (\cos \theta_Z)^2} \right) \cos \theta_T + \left( 1 - \left( \frac{I_b}{I_{sc} \cdot \cos \theta_Z} \right) \right) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] \quad \dots \quad (2-8)$$

$$I_{sc} = G_{sc} = 4,871 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{jam}$$

c. Radiasi pantulan ( $I_{rT}$ )

Selain radiasi sorotan dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan. Jumlah radiasi yang dipantulkan tersebut tergantung dari reflektansi  $\alpha$  (dimana harga  $\alpha$  dianggap 0,2 – 0,25 untuk permukaan tanpa salju dan 0,7 untuk permukaan dengan salju yang baru turun) dari permukaan yang dipantulkan.

<sup>7)</sup> Ibid hal. 34

<sup>8)</sup> Ibid hal. 34

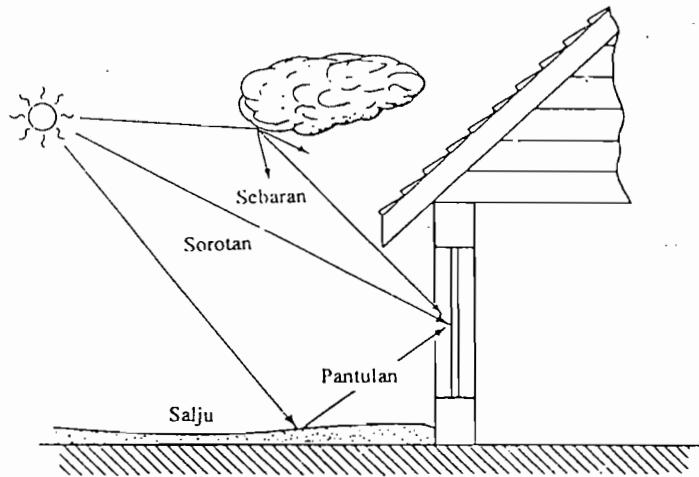
Radiasi pantulan dinyatakan dengan persamaan<sup>9)</sup> :

$$I_{rT} = \alpha \cdot (I_b + I_d) \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (2-9)$$

sehingga radiasi total ( $I_T$ ) pada permukaan miring diperoleh dengan menjumlahkan ketiga komponen di atas<sup>10)</sup>.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{rT} \quad \dots \dots \dots \quad (2-10)$$

$$I_T = H R$$



Gambar 7. Komponen radiasi pada permukaan miring (W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 35)

Radiasi matahari yang diserap oleh kolektor kita peroleh dengan mengalikan HR dengan pemancaran-penyerapan efektif produk ( $\tau\alpha_e$ ) dan faktor debu (1-d) serta faktor bayangan (1-s), sehingga diperoleh persamaan<sup>11)</sup>:

$$S = HR.(\tau\alpha)_e.(1-d).(1-s) \quad \dots \dots \dots \quad (2-11)$$

<sup>9)</sup> Ibid hal. 37

<sup>10)</sup> Ibid hal. 30

<sup>11)</sup> JA. Duffie dan WA. Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*, hal. 157

dengan<sup>12)</sup> :

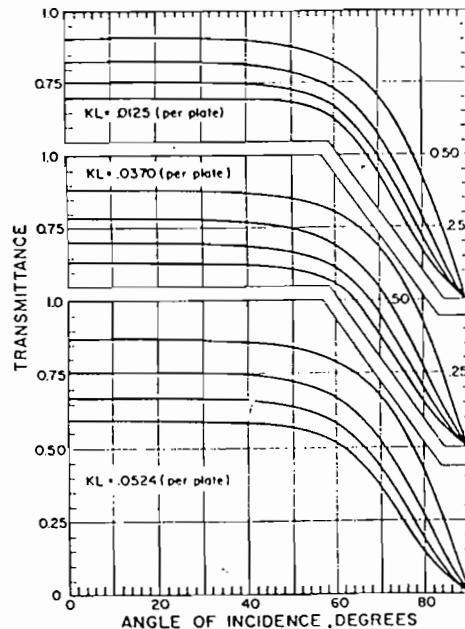
$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + \alpha_i \cdot (1 - \tau_a) \quad \dots \dots \dots \quad (2-12)$$

$(\tau\alpha)$  adalah pemancaran-penyerapan produk<sup>13)</sup>

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau(\theta_T) \cdot \alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d} \quad \dots \dots \dots \quad (2-13)$$

$\alpha$  adalah sudut penyerapan dari kolektor (*angular absorptance of absorber plate*),  $\rho_d$  adalah relektansi yang besarnya untuk 1, 2, 3, dan 4 penutup berturut-turut adalah 0,16 , 0,24 , 0,29 dan 0,32.

$\tau(\theta_T)$  adalah pemancaran karena penyerapan dan pantulan yang diperoleh dari grafik 1.



Grafik 1. Pemancaran (termasuk penyerapan dan pemantulan ) dari 1-4 tutup  
(JA. Duffie dan WA. Becman, *Solar Energy Thermal Processes*, hal. 114)

<sup>12)</sup> Ibid hal 155

<sup>13)</sup> Ibid hal. 115

$\tau_a$  adalah pemancaran hanya karena penyerapan yang diperoleh dengan persamaan<sup>14)</sup> :

$$\tau_a = e^{-KL} \quad \dots \dots \dots \quad (2-14)$$

K : Koefisien pemanasan

L : Garis edar sebenarnya dari radiasi yang melewati medium

## B. KOLEKTOR SURYA PELAT RATA

Pemanas cairan surya pada umumnya terdiri dari selembar bahan konduktif termal (pelat penyerap) yang menyambung pipa-pipa/pembawa cairan pemindah panas. Radiasi surya ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada pelat penyerap tersebut. Bagian dasar dan sisi-sisinya diisolasi untuk mengurangi kerugian panas.



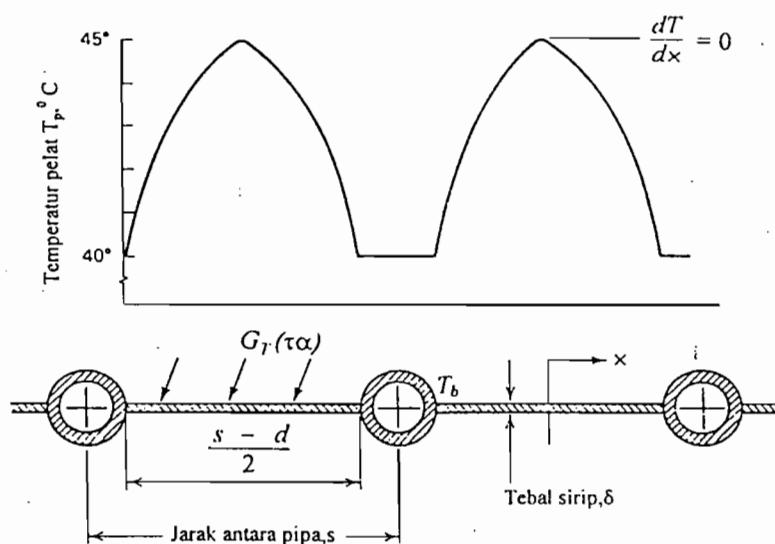
Gambar 8. Penampang lintang suatu pemanas cairan surya  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 42)

<sup>14)</sup> W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 112

### 1. Efisiensi sirip (F)

Pelat penyerap memindahkan panas secara konduksi ke pipa-pipa yang secara mekanis dan termal tersambung pada pelat penyerap itu. Suatu distribusi temperatur yang khas pada sirip antara pipa-pipa diperlihatkan pada Gambar 9, dengan temperatur maksimum di tengah-tengah 2 pipa yang gradien temperturnya  $dT/dx = 0$ , menurun ke  $T_b$  pada bagian dasar yang disebut dasar sirip.

Kerugian panas dari penyerap akan menjadi minimum jika seluruh sirip ada pada  $T_b$  (tidak mungkin terjadi), maka sebuah kolektor dirancang dengan baik sehingga selisih temperatur  $T_{maks} - T_b$  menjadi sekecil mungkin. Hal ini dicapai dengan memilih sebuah lembar penyerap panas dengan konduktivitas termal ( $k$ ) yang baik, ketebalan  $d$  yang cukup memadai dan dengan aliran panas  $(s-d)/2$  sependek mungkin.



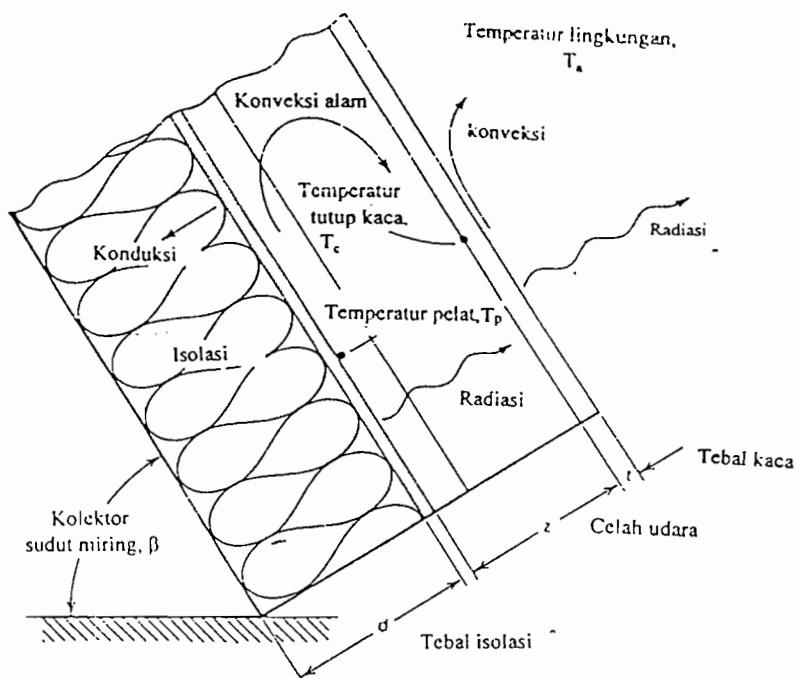
Gambar 9. Distribusi temperatur dalam suatu pelat penyerap dari tembaga  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 43)

Efisiensi sirip diperoleh dari persamaan<sup>15)</sup> :

$$F = \frac{\tanh\left[\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}\left(\frac{s-d}{2}\right)\right]}{\sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}\left(\frac{s-d}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

## 2. Koefisien kerugian panas total ( $U_L$ )

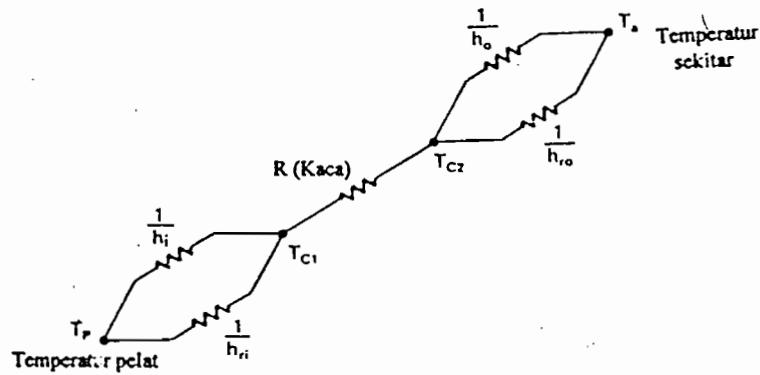
Panas hilang dari bagian atas pelat penyerap karena konveksi alam dan radiasi ke permukaan dalam dari pelat penutup kaca (sebagian dari radiasi itu akan melalui penutup kaca). Panas ini dikonduksikan oleh pelat kaca ke permukaan luarnya kemudian dipindahkan ke atmosfer luar secara konveksi dan radiasi.



Gambar 10. Kerugian panas kolektor

(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 47)

<sup>15)</sup> Ibid hal. 43



Gambar 11. Tahanan perpindahan panas melalui bagian atas kolektor  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 48)

Kerugian panas ini disebut kerugian atas ( $U_t$ ) dan dinyatakan dengan persamaan<sup>16)</sup> :

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-16)$$

dengan :

$h_i$  : Koefisien konveksi (alam) dalam ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$h_{ri}$  : Koefisien radiasi (ekivalen) dalam ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$R$  (kaca) : Tebal / konduktivitas termal ( $\text{t}/\text{K}$  ;  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )

$h_o$  : Koefisien konveksi luar ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$h_{ro}$  : Koefisien radiasi (ekivalen) luar ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

---

<sup>16)</sup> Ibid hal. 47

hi diperoleh dari Grafik 2 dengan terlebih dahulu menghitung fungsi-fungsi  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$  yang didefinisikan sebagai berikut<sup>17)</sup> :

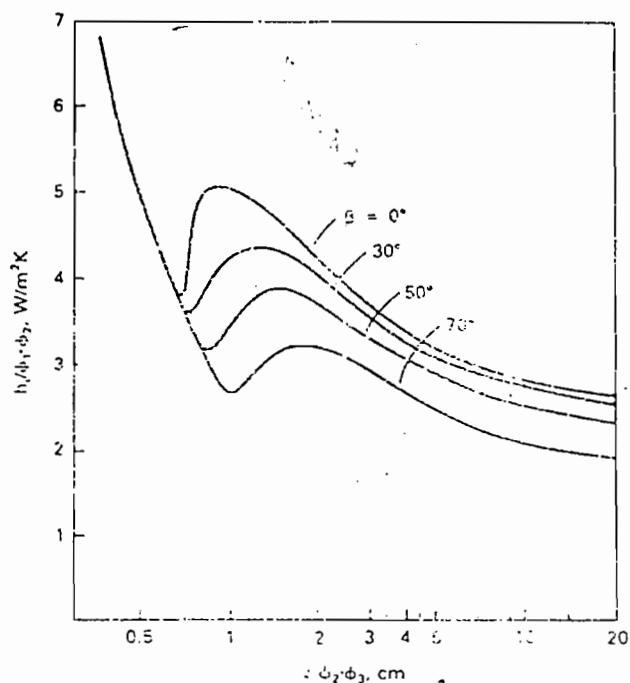
$$\phi_1 = \frac{137}{(T_m + 200)^{\frac{1}{3}} T_m^2}$$

$$\phi_2 = \frac{T_p - T_c}{50} \quad \dots \dots \dots \quad (2-17)$$

$$\phi_3 = \frac{1428.(T_m + 200)^{\frac{2}{3}}}{T_m^2}$$

dengan temperatur rata-rata<sup>18)</sup>:

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-18)$$



Grafik 2. Koefisien konveksi alam  $h_i$  dalam celah udara  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 49)

<sup>17)</sup> Ibid hal. 48

<sup>18)</sup> Ibid hal. 48

dari Grafik 2 di atas, untuk  $\beta = 50^\circ$  diperoleh suatu persamaan :

$$\frac{h_i}{\phi_1 \cdot \phi_2} = [(0,0127) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)^2] - [(0,2822) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)] + (4,2068)$$

dari Grafik 2 di atas, untuk  $\beta = 30^\circ$  diperoleh suatu persamaan :

$$\frac{h_i}{\phi_1 \cdot \phi_2} = [(0,0077) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)^2] - [(0,2345) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)] + (4,3392)$$

koefisien radiasi dalam ekivalen  $h_{ri}$  dinyatakan dengan persamaan<sup>19)</sup> :

$$h_{ri} = \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\left( \frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right)} \quad \dots \dots \dots \quad (2-19)$$

koefisien konveksi luar  $h_o$  dinyatakan dengan persamaan<sup>20)</sup> :

$$h_o = (5,7) + (3,8) \cdot V \quad \dots \dots \dots \quad (2-20)$$

dengan  $V$  adalah kecepatan angin (m/dt)

koefisien konveksi luar ekivalen  $h_{ro}$  dinyatakan dengan persamaan<sup>21)</sup> :

$$h_{ro} = \frac{\varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{langit}^4)}{T_c - T_{langit}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-21)$$

di mana temperatur langit diperkirakan oleh Swinbank sebagai<sup>22)</sup> :

$$T_{langit} = (0,0552) \cdot T_a^{3/2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-22)$$

koefisien kerugian atas  $U_L$  ditentukan dengan menambahkan koefisien kerugian atas  $U_t$  dengan koefisien kerugian bawah  $U_b$ <sup>23)</sup>,

<sup>19)</sup> Ibid hal. 50

<sup>20)</sup> Ibid hal. 51

<sup>21)</sup> Ibid hal. 51

<sup>22)</sup> Ibid hal. 51

<sup>23)</sup> Ibid hal. 52

$$U_b = \frac{1}{R} = \frac{k}{t} \quad \dots \dots \dots \quad (2-23)$$

sehingga koefisien kerugian panas total<sup>24)</sup> :

$$U_L = U_b + U_t \quad \dots \dots \dots \quad (2-24)$$

Temperatur pelat kolektor  $T_p$  dapat dievaluasi di akhir perhitungan dengan mengetahui  $S$ ,  $U_L$ ,  $T_a$  dengan persamaan<sup>25)</sup> :

$$T_p = T_a + \frac{S}{U_L} - \left[ \left\{ \frac{S}{U_L} - (T_i - T_a) \right\} \cdot \exp \left( - \frac{A_c \cdot U_L}{(m.C)_e} \right) \right] \quad \dots \dots \quad (2-25)$$

$(m.C)_e$  adalah kapasitas panas efektif kolektor yang meliputi kaca, pelat, air dan isolasi<sup>26)</sup> :

$$(m.C)_e = (m.C)_p + \alpha_i \cdot (m.C)_c$$

Dengan menyamakan perpindahan panas dari pelat penyerap ke luar  $q_{p-a}$  dengan perpindahan panas dari pelat penyerap ke tutup  $q_{p-c}$ , maka akan diperoleh persamaan untuk menghitung temperatur tutup  $T_c$ <sup>27)</sup> :

$$T_c = T_p - \left( \frac{U_{p-a} \cdot (T_p - T_a)}{U_{p-c}} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (2-26)$$

dengan :

$$U_{p-a} = \frac{1}{\frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{1}{h_o + h_{ro}}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-27)$$

$$U_{p-c} = \frac{1}{\frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{1}{h_o + h_{ro}}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-28)$$

<sup>24)</sup> Ibid hal. 52

<sup>25)</sup> JA. Duffie dan WA. Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*, hal. 162

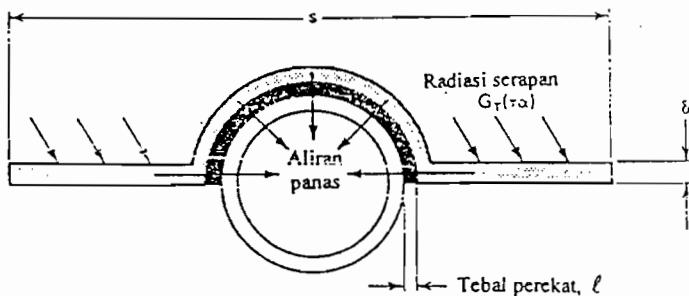
<sup>26)</sup> Ibid hal. 160

<sup>27)</sup> Ibid hal. 129

jika  $T_c$  asumsi awal yang dipakai untuk menghitung  $h_i$ ,  $h_{ri}$ ,  $h_o$ ,  $h_{ro}$  berbeda jauh dari  $T_c$  hasil perhitungan, maka perhitungan diulangi lagi sampai  $T_c$  hasil perhitungan sebagai asumsi awal dan sampai diperoleh  $T_c$  asumsi  $\approx T_c$  perhitungan ( $T_a < T_c < T_p$ ).

### 3. Faktor efisiensi ( $F'$ )

Karena temperatur  $T_p$  dari pelat penyerap berubah-ubah sepanjang dan melintang pelat itu, maka persamaan perolehan panas kolektor dan persamaan efisiensi biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur fluida masuk  $T_i$  yang relatif mudah dikontrol dan diukur selama pengujian dan pengoperasian.



Gambar 12. Aliran panas ke dalam cairan  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 54)

Faktor efisiensi dinyatakan dengan persamaan<sup>28)</sup>:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left[ \frac{1}{U_L \cdot \{(s-d)F + d\}} + \frac{1}{k_p b} + \frac{1}{h \cdot \pi \cdot d_i} \right]} \quad \dots \dots \dots (2-29)$$

<sup>28)</sup> W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 55

dengan :

$k_p$  : konduktivitas termal perekat (W/m.K)

b : Panjang perekat (m)

l : Tebal perekat (m)

h : Koefisien konveksi fluida (W/m<sup>2</sup>.K)

$d_i$  : Diameter dalam pipa (m)

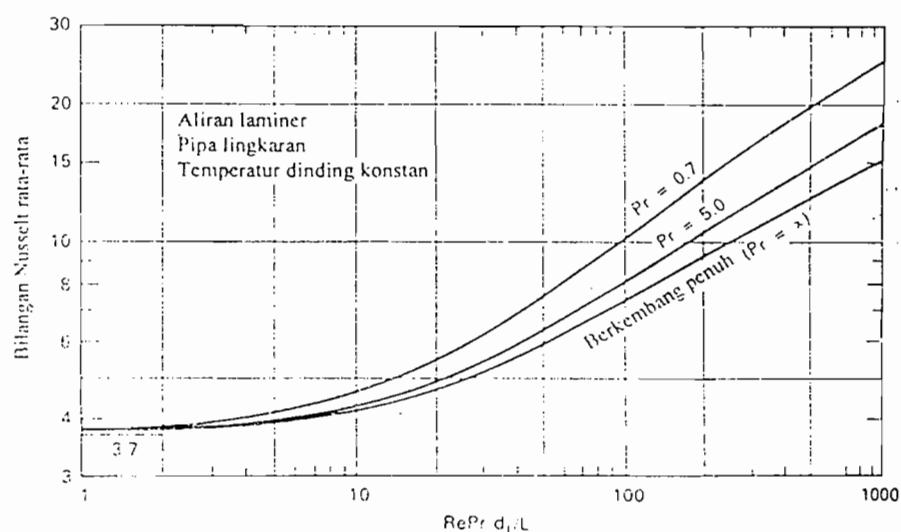
h dinyatakan dengan persamaan<sup>29)</sup> :

$$h = N_u \cdot \frac{k}{d_i} \quad \dots \dots \dots \quad (2-30)$$

dengan :

Nu : Bilangan Nusselt (dicari dengan Grafik 3)

k : Konduktivitas termal fluida pada  $T_f$  (W/m.K)



Grafik 3. Bilangan Nusselt dalam pipa pendek untuk berbagai bilangan Prandtl  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 9)

<sup>29)</sup> Ibid hal. 56

#### 4. Faktor pelepasan panas ( $F_R$ )

Pelepasan panas sebuah kolektor surya lebih baik dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur masuk fluida  $T_i$ , hal ini dapat dilakukan dengan memakai faktor pelepas panas.

Apabila kerugian panas dinyatakan sebagai  $T_i$ , maka kerugian tersebut dinyatakan sebagai :

$$U_L \cdot (T_i - T_c)$$

dimana  $T_i$  selalu lebih kecil dari  $T_p$  yang menjadi dasar bagi  $U_L$ . Karena itu kerugian yang dihitung terlalu rendah dan perolehan panas terlalu besar, sehingga perlu faktor koreksi yaitu faktor pelepasan panas  $F_R$  (Hubungan eksponensial untuk  $F_R$  disebabkan karena pada kenyataannya temperatur fluida naik secara eksponensial dalam aliran sepanjang pipa).

Faktor pelepasan panas dinyatakan dengan persamaan<sup>30)</sup> :

$$F_R = \frac{G \cdot C_p}{U_L} \left[ 1 - e^{-ksp} - \left( \frac{U_L \cdot F'}{G \cdot C_p} \right) \right] \quad \dots \dots \dots \quad (2-31)$$

dengan :

$G$  : Laju aliran massa fluida ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

$C_p$  : Panas jenis fluida ( $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

---

<sup>30)</sup> Ibid hal. 58

### C. PERSAMAAN PRESTASI MESIN

Laju penyimpanan panas dalam tangki, yang dianggap berada di dalam ruangan, adalah  $m_s \cdot C_a \left( \frac{dT_s}{d\theta} \right)$  dan sama dengan panas yang diserap oleh kolektor ( $Q_u$ ) dikurangi dengan kerugian panas dari tangki ( $Q_{env}$ ) dan kerugian panas untuk beban ( $Q_L$ ), sehingga diperoleh persamaan<sup>31)</sup> :

$$\begin{aligned} m_s \cdot C_{ps} \cdot \frac{dT_s}{d\tau} &= Q_u - Q_{env} - Q_L \\ m_s \cdot C_{ps} \cdot \frac{dT_s}{d\tau} &= A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{s,old} - T_a)] - (U \cdot A)_s \cdot (T_{s,old} - T_r) - (m \cdot C_p)_L \cdot (T_{s,old} - T_{L,r}) \end{aligned} \quad \dots \quad (2-32)$$

Persamaan ini diturunkan akan diperoleh persamaan<sup>32)</sup> :

$$T_s = T_{s,old} + \frac{\Delta\tau}{m_s \cdot C_{ps}} \cdot (Q_u - Q_{env} - Q_L) \quad \dots \quad (2-33)$$

$Q_u$  juga bisa diperoleh dengan persamaan<sup>33)</sup> :

$$Q_u = (m \cdot C_p)_C \cdot (T_{C,O} - T_s) \quad \dots \quad (2-34)$$

dengan :

$T_s$  : Temperatur fluida dalam tangki penyimpan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{s,old}$  : Temperatur tangki penyimpan sebelumnya ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{C,O}$  : Temperatur fluida yang keluar dari kolektor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta t$  : Selang waktu (= 1 jam)

$A_c$  : Luas pelat kolektor ( $\text{m}^2$ )

$T_a$  : Temperatur lingkungan ( $^{\circ}\text{C}$ )

---

<sup>31)</sup> JA. Duffie dan WA. Beckman, *Solar Energy Thermal Processes*, hal. 243

<sup>32)</sup> Ibid, hal. 244

<sup>33)</sup> Ibid, hal. 223

$T_{L,r}$  : Temperatur fluida beban (°C)

$U_s$  : Koefisien kerugian tangki penyimpan panas ( $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$A_s$  : Luas tangki penyimpan panas ( $m^2$ )

$m_s$  : Massa fluida dalam tangki penyimpan (kg/hr)

$C_{ps}$  : Panas jenis fluida dalam tangki penyimpan (kJ/kg.°C)

$m_L$  : Massa fluida beban (kg)

$C_{pL}$  : Panas jenis fluida beban ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$m_C$  : Massa fluida yang melalui kolektor (kg)

$C_{p,C}$  : Panas jenis fluida yang melalui kolektor ( $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )

Dalam kondisi tangki penyimpan yang besar, temperatur  $T_S$  tidaklah seragam untuk semua bagian, karena itu tangki penyimpan panas perlu dibuat menjadi 2 bagian ( $T_{S,1}$  dan  $T_{S,2}$ ) dengan persamaan<sup>34)</sup> :

$$\begin{aligned}
 m_{s,1} \cdot c_{ps,1} \cdot \frac{dT_{s,1}}{d\tau} &= Q_{u,1} - Q_{env,1} - Q_{L,1} \\
 m_{s,1} \cdot c_{ps,1} \cdot \frac{dT_{s,1}}{d\tau} &= m_C \cdot C_{p,C} \cdot F_1^C \cdot (T_{C,O} - T_{S1,old}) - (U \cdot A)_{S,1} \cdot (T_{s1,old} - T_{room}) \\
 &\quad - (m \cdot C_p)_L \cdot [F_1^L \cdot (T_{S1,old} - T_{L,r}) + F_2^L \cdot (T_{s1,old} - T_{S2,old})]
 \end{aligned} \tag{2-35}$$

$$m_{s,2} \cdot c_{ps,1} \cdot \frac{dT_{s,2}}{d\tau} = Q_{u,2} - Q_{env,2} - Q_{L,2}$$

$$m_{s,2} \cdot c_{ps,1} \cdot \frac{dT_{s,2}}{d\tau} = m_C \cdot C_{p,C} \cdot [F_1^C \cdot (T_{S,1} - T_{S2,old}) + F_2^C \cdot (T_{C,O} - T_{S2,old})] - (U.A)_{S,2} \cdot (T_{S2,old} - T_{room})$$

$$- (m.C_p)_L \cdot F_2^L \cdot (T_{S2,old} - T_{L,r})$$

..... (2-36)

<sup>34)</sup> Ibid, hal. 225

dengan :

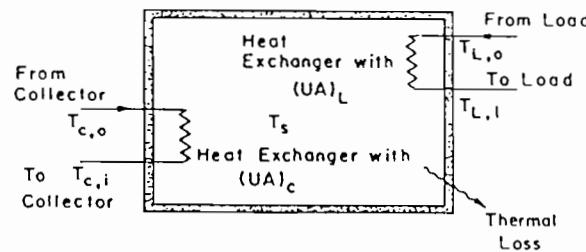
$$F^C_1 = 1 \text{ untuk } T_{C,O} > T_{S,1} \text{ dan } F^C_1 = 0 \text{ untuk sebaliknya, dan } F^C_2 = 1 - F^C_1$$

$$F^L_1 = 0, \text{ dan } F^L_2 = 1 - F^L_1 = 1$$

dari persamaan (2-35) dan (2-36) di atas akan diperoleh persamaan :

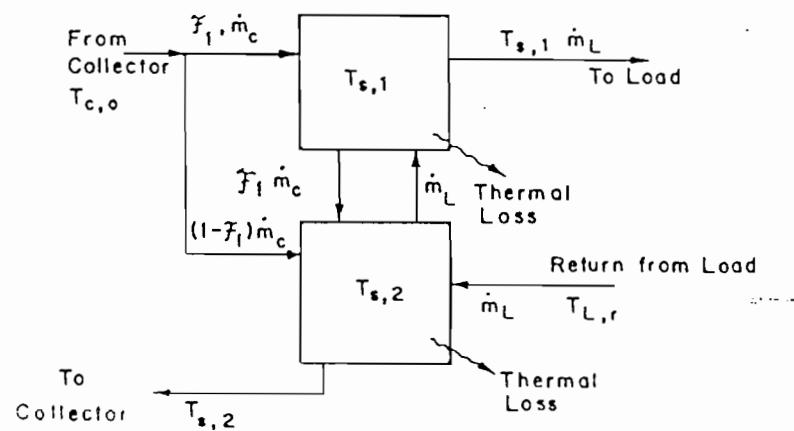
$$T_{s,1} = T_{s1,old} + \frac{\Delta\tau}{m_{s,1} \cdot C_{ps,1}} \cdot (Q_{u,1} - Q_{env,1} - Q_{L,1}) \dots \quad (2-37)$$

$$T_{s,2} = T_{s2,old} + \frac{\Delta\tau}{m_{s,2} \cdot C_{ps,2}} \cdot (Q_{u,2} - Q_{env,2} - Q_{L,2}) \dots \quad (2-38)$$



Gambar 13. Tangki Penyimpan Panas tak Bertingkat ( $T_s$  seragam)

(JA. Duffie, *Solar Energy Thermal Processes*, hal 226)



Gambar 14. Tangki Penyimpan Panas Bertingkat ( $T_s$  tak seragam)

(JA. Duffie, *Solar Energy Thermal Processes*, hal 224)

## BAB III

### PEMODELAN SISTEM PEMANAS AIR SURYA TERMOSIFON

#### A. RADIASI SURYA (S)

Radiasi total pada permukaan miring dihitung dengan menjumlahkan 3 komponen, yaitu radiasi sorotan ( $I_{bT}$ ), radiasi sebaran ( $I_{dT}$ ) dan radiasi pantulan ( $I_{rT}$ ).

##### 1. Radiasi Sorotan ( $I_{bT}$ )

dari persamaan (2-3) kita peroleh :

$$I_{bT} = I_{bn} \cdot \cos \theta_T = I_b \cdot \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z}$$

dimana  $I_b$  kita peroleh dari data radiasi yang ada dari suatu tempat pada waktu tertentu, sedang  $\cos \theta_T$  dan  $\cos \theta_z$  dapat kita cari dari persamaan (2-4) dan (2-6).

##### 2. Radiasi Sebaran ( $I_{dT}$ )

dari persamaan (2-7) kita peroleh :

$$I_{dT} = I_d \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right)$$

dengan :

$I_d$  kita peroleh dari data radiasi yang ada dari suatu tempat pada waktu tertentu.

$\cos \beta$  merupakan sudut kemiringan dari pelat kolektor.



### 3. Radiasi Pantulan ( $I_{rT}$ )

dari persamaan (2-9) kita peroleh :

$$I_{rT} = \alpha \cdot (I_b + I_d) \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

$\alpha$  adalah reflektansi dari suatu permukaan, yang harganya 0,2–0,25 untuk permukaan tanpa salju dan 0,7 untuk permukaan dengan salju yang baru turun.

sehingga dari persamaan (2-10) kita peroleh harga radiasi total  $I_T$  :

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{rT}$$

Radiasi total yang diserap kolektor dapat kita cari dengan persamaan (2-11) :

$$S = HR \cdot (\tau\alpha)_e \cdot (1-d) \cdot (1-s)$$

dengan :

$$\text{HR} : I_T$$

(1-d) : merupakan faktor debu (= 0,98)

(1-d) : merupakan faktor bayangan (= 0,97)

$(\tau\alpha)_e$  : Pemancaran-penyerapan efektif produk (lihat persamaan (12)),

## B. KOEFISIEN KERUGIAN PANAS TOTAL ( $U_L$ )

$U_L$  ini dapat kita hitung dengan menjumlahkan koefisien kerugian atas ( $U_t$ )

dengan koefisien kerugian bawah ( $U_b$ ) seperti pada persamaan (2-24) :

$$U_L = U_b + U_t$$

1. Koefisien kerugian atas ( $U_t$ )

dari persamaan (2-16) kita peroleh  $U_t$  :

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (kaca) + \frac{1}{h_o + h_{ro}}$$

dengan :

$h_i$  diperoleh dari Grafik 2 dengan terlebih dahulu menghitung fungsi-fungsi  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  seperti pada persamaan (2-17) :

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \frac{137}{(T_m + 200)^{\frac{1}{3}} \cdot T_m^{\frac{1}{2}}} \\ \phi_2 &= \frac{T_p - T_c}{50} \\ \phi_3 &= \frac{1428 \cdot (T_m + 200)^{\frac{2}{3}}}{T_m^2}\end{aligned}$$

Grafik 2 tersebut dapat diganti dengan persamaan kuadrat :

untuk  $\beta = 50^\circ$

$$\frac{h_i}{\phi_1 \cdot \phi_2} = [(0,0127) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)^2] - [(0,2822) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)] + (4,2068)$$

untuk  $\beta = 30^\circ$

$$\frac{h_i}{\phi_1 \cdot \phi_2} = [(0,0077) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)^2] - [(0,2345) \cdot (z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3)] + (4,3392)$$

$h_{ri}$  diperoleh dari persamaan (2-19)

$h_o$  diperoleh dari persamaan (2-20)

$h_{ro}$  diperoleh dari persamaan (2-21)

## 2. Koefisien kerugian bawah ( $U_b$ )

dari persamaan (2-23) kita peroleh  $U_b$  :

$$U_b = \frac{1}{R} = \frac{k}{t}$$

Di akhir perhitungan  $U_L$  ini, kita juga menghitung dan membandingkan asumsi awal untuk temperatur tutup  $T_c$  dengan  $T_e$  yang dihitung persamaan (2-26) :

$$T_c = T_p - \left( \frac{U_{p-a} \cdot (T_p - T_a)}{U_{p-c}} \right)$$

hal ini untuk melihat *valid*-nya  $T_c$  yang kita gunakan dalam perhitungan.

## C. EFISIENSI SIRIP (F)

dari persamaan (2-15) kita peroleh harga F :

$$F = \frac{\tanh \left[ \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \left( \frac{s-d}{2} \right) \right]}{\sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \left( \frac{s-d}{2} \right)}$$

## D. KOEFISIEN KONVEKSI FLUIDA (h)

dari persamaan (2-30) kita peroleh harga h :

$$h = N_u \cdot \frac{k}{d_i}$$

$N_u$  diperoleh dari Grafik 3 dengan terlebih dahulu menghitung :

$$R_e \cdot P_r \cdot \frac{d_i}{L}$$

dengan :

$R_e$  adalah bilangan Reynold yang dicari persamaan :

$$R_e = \frac{4 \cdot m_a}{\pi \cdot d_i \cdot \mu}$$

$m_a$  : Laju aliran massa per pipa (kg/s)

$\mu$  : Viskositas dinamik fluida pada  $T_{s,old}$  ( $P_a \cdot s$ )

$P_r$  adalah bilangan Prandtl yang dicari dengan persamaan :

$$P_r = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

$C_p$  : Panas jenis fluida pada  $T_{s,old}$  (kJ/kg.°C)

## E. FAKTOR EFISIENSI (F')

dari persamaan (2-29) kita peroleh harga  $F'$  :

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left[ \frac{1}{U_L \cdot \{(s-d) \cdot F + d\}} + \frac{1}{k \cdot h} + \frac{1}{h \cdot \pi \cdot d_i} \right]}$$

## F. FAKTOR PELEPASAN PANAS ( $F_R$ )

dari persamaan (2-31) kita peroleh harga  $F_R$  :

$$F_R = \frac{G \cdot C_p}{U_L} \left[ 1 - \exp \left( - \left( \frac{U_L \cdot F'}{G \cdot C_p} \right) \right) \right]$$

## G. KALOR (Q)

untuk tangki penyimpan panas tak bertingkat (tunggal) :

1. Kalor yang diserap kolektor  $Q_U$

dari persamaan (2-32) atau (2-34) kita peroleh harga  $Q_U$  :

$$Q_U = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{s,old} - T_a)]$$

$$Q_u = (m \cdot C_p)_C \cdot (T_{C,O} - T_s)$$

2. Kalor yang hilang  $Q_{env}$

dari persamaan (2-32) kita peroleh harga  $Q_{env}$  :

$$Q_{env} = (UA)_s \cdot (T_{s,old} - T_{room})$$

3. Kalor yang diserap beban  $Q_L$

dari persamaan (2-32) kita peroleh harga  $Q_L$  :

$$Q_L = m_L \cdot C_{pL} \cdot (T_{s,old} - T_{L,r})$$

untuk tangki penyimpan panas bertingkat dua :

1. Tangki pertama

- a. Kalor yang diserap kolektor  $Q_U$

dari persamaan (2-34) kita peroleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{u,1} = (m \cdot C_p)_C \cdot F_1^C \cdot (T_{C,O} - T_{s1,old})$$

- b. Kalor yang hilang  $Q_{env}$

dari persamaan (2-35) kita peroleh harga  $Q_{env}$  :

$$Q_{env,1} = (UA)_{s,1} \cdot (T_{s1,old} - T_{room})$$

- c. Kalor yang diserap beban  $Q_L$

dari persamaan (2-35) kita peroleh harga  $Q_L$  :

$$Q_{L,1} = m_L \cdot C_{pL} \cdot (T_{s1,old} - T_{s2,old})$$

2. Tangki kedua

1. Kalor yang diserap kolektor  $Q_U$

dari persamaan (2-34) kita peroleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{u,2} = (m \cdot C_p)_C \cdot [F_1^C \cdot (T_{s,1} - T_{s2,old}) + F_2^C \cdot (T_{C,O} - T_s)]$$

2. Kalor yang hilang  $Q_{env}$

dari persamaan dan (2-36) kita peroleh harga  $Q_{env}$  :

$$Q_{env,2} = (UA)_{s,2} \cdot (T_{s2,old} - T_{room})$$

3. Kalor yang diserap beban  $Q_L$

dari persamaan (2-36) kita peroleh harga  $Q_L$  :

$$Q_{L,2} = m_L \cdot C_{pL} \cdot (T_{s2,old} - T_{L,r})$$

## H. TEMPERATUR PELAT KOLEKTOR ( $T_P$ )

dari persamaan (2-25) kita peroleh harga  $T_P$  :

$$T_p = T_a + \frac{S}{U_L} - \left[ \left\{ \frac{S}{U_L} - (T_i - T_a) \right\} \cdot \exp \left( - \frac{A_e \cdot U_L}{(mC)_e} \right) \right]$$

## I. TEMPERATUR FLUIDA YANG KELUAR DARI KOLEKTOR

dari persamaan (2-32) dan (2-34) kita peroleh harga  $T_{C,O}$  :

$$T_{C,O} = \frac{Q_U}{m_C \cdot C_{pC}} + T_{s,old}$$

### J. TEMPERATUR FLUIDA DALAM TANGKI PENYIMPAN PANAS ( $T_s$ )

dari persamaan (2-33) kita peroleh harga  $T_s$  :

$$T_s = T_{s.old} + \frac{\Delta\tau}{m_s \cdot C_{ps}} \cdot (Q_u - Q_{env} - Q_L)$$

dari persamaan (2-37) kita peroleh harga  $T_{s,1}$  :

$$T_{s,1} = T_{s1.old} + \frac{\Delta\tau}{m_{s,1} \cdot C_{ps,1}} \cdot (Q_u - Q_{env} - Q_L)$$

dari persamaan (2-38) kita peroleh harga  $T_{s,2}$  :

$$T_{s,2} = T_{s2.old} + \frac{\Delta\tau}{m_{s,2} \cdot C_{ps,2}} \cdot (Q_u - Q_{env} - Q_L)$$

Pemodelan pemanas air termosifon ini akan penulis perjelas dengan memberikan sebuah contoh kasus, yaitu di kota Madison (43°N), 15 Januari 1997, dimulai dari jam 07.00 – 18.00 dengan data awal :

Pelat kolektor dari Aluminium dan 6 buah pipa pararel dengan :

Temperatur $T_p$	:	-1	$^{\circ}\text{C}$
Panas jenis $C_p$	:	0,896	$\text{kJ/kg.}^{\circ}\text{C}$
Konduktivitas termal $K$	:	204	$\text{W/m.}^{\circ}\text{C}$
Massa jenis $\rho$	:	2707	$\text{kg/m}^3$
Laju aliran massa fluida keluar kolektor $m_C$	:	20	$\text{kg/hr}$
Emisivitas $\epsilon_p$	:	0,09	
Reflektansi $\rho_d$	:	0,16	
Jarak sumbu pipa s	:	$15 \cdot 10^{-2}$	m
Tebal sirip $\delta$	:	$5 \cdot 10^{-4}$	m
Diameter pipa luar d	:	$16 \cdot 10^{-3}$	m

Diameter dalam pipa  $d_i$  :  $6 \cdot 10^{-3}$  m

Panjang kolektor : 2 m

Lebar kolektor : 1 m

Kaca penutup dengan :

Temperatur  $T_c$  : -1  $^{\circ}\text{C}$

Panas jenis  $C_p$  : 0,84 kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$

Konduktivitas termal K : 1,05 W/m.K

Emisivitas  $\epsilon_c$  : 0,94

Massa jenis  $\rho$  : 2700 kg/m<sup>3</sup>

Tebal kaca :  $5 \cdot 10^{-3}$  m

Aliran massa per pipa  $m_a$  :  $9,26 \cdot 10^{-4}$  kg/s

Laju aliran massa fluida G : 0,001 kg/m<sup>2</sup>.s

Isolasi dari papan kaca serat dengan :

Konduktivitas termal  $K_s$  : 0,043 W/m.K

Tebal isolasi untuk kolektor t : 0,05 m

Tebal isolasi untuk tangki penyimpan panas  $t_s$  : 0,01 m

Tangki penyimpan panas dengan :

Koefisien kerugian  $U_s$  ( $U_s = K_s/t_s$ ) : 4,3 W/m<sup>2</sup>.K

Luas permukaan tangki  $A_s$  : 1,5 m<sup>2</sup>

Massa air dalam tangki  $m_s$  : 125 kg/hr

Laju aliran massa fluida beban  $m_L$  : 5 kg/hr

Panas jenis fluida beban  $C_{p,L}$  : 4,19 kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$

$I_b$  (asumsi 80%) dan  $I_d$  (asumsi 20%) (lihat lampiran1)

Temperatur air awal $T_{s,old}$	:	27	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur alam $T_a$ (lihat lampiran 1)	:		
Temperatur ruangan $T_{room}$	:	25	$^{\circ}\text{C}$
Temperatur fluida beban $T_{L,r}$	:	15	$^{\circ}\text{C}$
Sudut kemiringan pelat kolektor $\beta$	:	50	$^{\circ}$
Sudut penyerapan dari kolektor $\alpha$	:	0,95	
Faktor debu (1-d)	:	0,98	
Faktor bayangan (1-s)	:	0,97	
KL produk	:	0,0373	
Rasio koefisien kerugian keseluruhan $a_i$	:	0,27	
Viskositas dinamik fluida (pada $T_{s,old}$ ) $\mu$	:	$8,6 \cdot 10^{-4}$	kg/m.s
Konduktivitas termal fluida (pada $T_{s,old}$ ) $k$	:	0,614	W/m. $^{\circ}\text{C}$
Panas jenis fluida (pada $T_{s,old}$ ) $C_p$	:	4,179	kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$
Konduktivitas termal perekat K	:	50	W/m.K
Panjang perekat b	:	$18 \cdot 10^{-3}$	m
Tebal perekat l	:	$1 \cdot 10^{-4}$	m

sehingga dari data-data di atas, untuk 1 jam pertama (07.00 – 08.00) dapat kita peroleh :

#### A. Untuk tangki penyimpan panas tak bertingkat

##### 1. Radiasi surya (S)

###### 1) Radiasi Sorotan ( $I_{bT}$ )

dari persamaan (2-5) kita peroleh :

$$\delta = (23,45) \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+15}{365}\right) = -21,27^{\circ}$$

dari persamaan (2-4) kita peroleh :

$$\begin{aligned}\cos \theta_T &= \sin(-21,27) \cdot \sin(43 - 50) + \cos(-21,27) \cdot \cos(43 - 50) \cdot \cos(67,5) \\ \cos \theta_T &= 0,4\end{aligned}$$

dari persamaan (2-6) kita peroleh :

$$\cos \theta_z = (\sin(-21,27) \cdot \sin 43) + (\cos(-21,27) \cdot \cos 43) \cdot \cos(67,5) = 0,01$$

dari persamaan (2-3) kita peroleh :

$$I_{bT} = (0) \cdot \frac{0,4}{0,01} = 0$$

## 2) Radiasi Sebaran ( $I_{dT}$ )

dari persamaan (2-7) kita peroleh :

$$I_{dT} = 0 \cdot \left( \frac{1 + \cos 50}{2} \right) = 0$$

## 3) Radiasi Pantulan ( $I_{rT}$ )

dari persamaan (2-9) kita peroleh :

$$I_{rT} = (0,25) \cdot (0+0) \cdot \left( \frac{1 - \cos 50}{2} \right) = 0$$

sehingga dari persamaan (2-10) kita peroleh harga radiasi total  $I_T$  :

$$I_T = 0 + 0 + 0 = 0$$

Radiasi total yang diserap kolektor dapat dicari dengan persamaan (2-11) :

$$S = HR \cdot (\tau\alpha)_e \cdot (1-d) \cdot (1-s)$$

dari persamaan (2-13) kita peroleh :

$$(\tau\alpha) = \frac{(0,76) \cdot (0,95)}{1 - (1 - (0,95)) \cdot (0,16)} = 0,73$$

dari persamaan (2-12) kita peroleh :

$$(\tau\alpha)_e = (0,73) + (0,27).(1 - 0,96) = 0,74$$

sehingga :

$$S = 0.(0,74).(0,98).(0,97) = 0$$

## 2. Koefisien kerugian panas total ( $U_L$ )

### a. Koefisien kerugian atas ( $U_t$ )

dari persamaan (2-18) kita peroleh :

$$T_m = \frac{272 + 272}{2} = 272 K$$

fungsi-fungsi  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  seperti pada persamaan (2-17) :

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \frac{137}{(272 + 200)^{\frac{1}{3}} \cdot 272^{\frac{1}{2}}} = 1,07 \\ \phi_2 &= \frac{272 - 272}{50} = 0 \\ \phi_3 &= \frac{1428 \cdot (272 + 200)^{\frac{2}{3}}}{272^2} = 1,17\end{aligned}$$

$h_i$  diperoleh dari Grafik 2 dengan terlebih dahulu menghitung :

$$z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 = (2,5) \cdot (0 \cdot 1,17) = 0$$

$$\begin{aligned}\frac{h_i}{(1,07) \cdot 0} &= [(0,0127) \cdot 0^2] - [(0,2822) \cdot 0] + (4,2068) \\ h_i &= 0\end{aligned}$$

$h_{ri}$  diperoleh dari persamaan (2-19) :

$$h_{ri} = \frac{(5,67 \cdot 10^{-8}) \cdot (272^2 + 272^2) \cdot (272 + 272)}{\left( \frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,94} - 1 \right)} = 0,41 W/m.K$$

$h_o$  diperoleh dari persamaan (2-20) :

$$h_o = (5,7) + (3,8).(5,8) = 27,74 W/m.K$$

dari persamaan (2-22) diperoleh :

$$T_{langit} = (0,0552).(-1 + 273)^{3/2} = 247,62 K$$

$h_{ro}$  diperoleh dari persamaan (2-21)

$$h_{ro} = \frac{(0,94).(5,67 \cdot 10^{-8}).(272^4 - (247,62)^4)}{272 - (247,62)} = 3,75 W/m.K$$

sehingga dari persamaan (2-16) kita peroleh  $U_t$  :

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{(0) + (0,41)} + \frac{0,005}{1,05} (kaca) + \frac{1}{(27,74) + (3,75)}$$

$$U_t = 0,40 W/m^2.K$$

b. Koefisien kerugian bawah ( $U_b$ )

dari persamaan (2-23) kita peroleh  $U_b$  :

$$U_b = \frac{1}{R} = \frac{0,043}{0,05} = 0,86 W/m^2.K$$

sehingga dari persamaan (2-24) kita peroleh :

$$U_L = (0,86) + (0,40) = 1,26 W/m^2.K$$

dari persamaan (2-27) kita peroleh :

$$U_{p-a} = \frac{1}{\frac{1}{0 + (0,41)} + \frac{1}{(27,74) + (3,75)}} = 0,40 W/m^2.K$$

dari persamaan (2-28) kita peroleh :

$$U_{p-c} = \frac{1}{\frac{1}{0 + (0,41)}} = 0,41 W/m^2.K$$

dari persamaan (2-26) kita peroleh :

$$T_c = 272 - \left( \frac{(0,40)(272 - 272)}{0,41} \right) = 272 \text{ K} = -1^\circ\text{C}$$

asumsi awal  $T_c (= -1^\circ\text{C}) = T_c$  hasil perhitungan ( $= -1^\circ\text{C}$ ), sehingga asumsi awal tersebut bisa dipakai.

### 3. Efisiensi sirip (F)

dari persamaan (2-15) kita peroleh harga F :

$$F = \frac{\tanh \left[ \sqrt{\frac{5,80}{204 \cdot (5 \cdot 10^{-4})}} \cdot \left( \frac{0,15 - 0,016}{2} \right) \right]}{\sqrt{\frac{5,80}{204 \cdot (5 \cdot 10^{-4})}} \cdot \left( \frac{0,15 - 0,016}{2} \right)} = 0,98$$

### 4. Koefisien konveksi fluida (h)

dari persamaan (2-30) kita peroleh harga h :

$$h = N_u \cdot \frac{k}{d_i}$$

Bilangan Reynold dicari dengan persamaan :

$$R_e = \frac{4 \cdot (9,26 \cdot 10^{-4})}{\pi \cdot (6 \cdot 10^{-3}) \cdot (8,6 \cdot 10^{-4})} = 228,47$$

Bilangan Prandtl dicari dengan persamaan :

$$P_r = \frac{(4179) \cdot (8,6 \cdot 10^{-4})}{0,614} = 5,85$$

$N_u$  diperoleh dari Grafik 3 dengan terlebih dahulu menghitung :

$$R_e \cdot P_r \cdot \frac{d_i}{L} = (215,88) \cdot (5,85) \cdot \frac{6,35 \cdot 10^{-3}}{2} = 4,01$$

sehingga diperoleh harga  $N_u = 3,8$

harga  $h$  diperoleh dari persamaan (2-30) :

$$h = (3,8) \cdot \frac{0,614}{6 \cdot 10^{-3}} = 388,87 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

### 5. Faktor efisiensi ( $F'$ )

dari persamaan (2-29) kita peroleh harga  $F'$  :

$$F' = \frac{\frac{1}{1,26}}{(0,15) \cdot \left[ \frac{1}{(1,26) \cdot \{(0,15 - 0,016) \cdot (0,98) + (0,016)\}} + \frac{1}{\frac{50 \cdot (0,016)}{0,0001}} + \frac{1}{(388,87) \cdot \pi \cdot (0,006)} \right]}$$

$$F' = 0,96$$

### 6. Faktor pelepasan panas ( $F_R$ )

dari persamaan (2-31) kita peroleh harga  $F_R$  :

$$F_R = \frac{(0,001) \cdot 4179}{1,26} \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{(1,26) \cdot (0,96)}{(0,001) \cdot 4179} \right) \right] = 0,73$$

### 7. Kalor ( $Q$ )

#### a. Kalor yang diserap kolektor $Q_U$

dari persamaan (2-32) kita peroleh harga  $Q_U$  :

$$Q_U = 2 \cdot (0,73) \cdot [0 - (1,26) \cdot (300 - 272)] = -51,51 \approx 0 \text{ W}$$

karena bertanda negatif, maka  $Q_u$  untuk 1 jam pertama dianggap nol.

#### b. Kalor yang hilang $Q_{env}$

dari persamaan (2-32) kita peroleh harga  $Q_{env}$  :

$$Q_{env} = (4,3) \cdot (1,5) \cdot (27 - 25) = 12,90 \text{ W}$$

c. Kalor yang diserap beban  $Q_L$

dari persamaan (2-32) kita peroleh harga  $Q_L$  :

$$Q_L = \frac{5.(4,19).(27 - 15)}{3,6} = 69,83 W$$

8. Temperatur fluida yang keluar kolektor ( $T_{C,O}$ )

dari persamaan (2-32) dan (2-34) kita peroleh harga  $T_{C,O}$  :

$$T_{C,O} = \frac{0}{20.(4,19)} + 27 = 27 {}^{\circ}C$$

9. Temperatur pelat kolektor ( $T_p$ )

Untuk 1 jam pertama  $T_p = -1 {}^{\circ}C (\approx T_a)$ , untuk 1 jam berikutnya  $T_p$  dihitung dengan persamaan (2-25) :

$$(mc)_e = (2,43 + 45,12 + 83,58) + (0,27.22,68) = 137,25 kJ/{}^{\circ}C$$

$$T_p = 272 + \frac{0}{1,26} - \left[ \{1,26 - (272 - 273)\} \exp\left(-\frac{2.(1,26).(3,6)}{137,25}\right) \right] = 272,06 K$$

10. Temperatur tangki penyimpan panas ( $T_s$ )

Untuk 1 jam pertama  $T_s = 27 {}^{\circ}C$  (data asumsi awal), untuk 1 jam berikutnya  $T_s$  dihitung dari persamaan (2-33) (dengan harga  $Q_u$ ,  $Q_{env}$  dan  $Q_L$  pada jam sebelumnya) :

$$T_s = 27 + \frac{1}{125.(4,19)} \cdot (0 - (6,45) - (69,83)) = 26,48 {}^{\circ}C$$

## B. Untuk tangki penyimpan bertingkat dua

yang berbeda hanya variabel temperatur dan kalor.

1. untuk tingkat pertama

a. Temperatur fluida yang keluar dari kolektor ( $T_{C,O}$ )

dari persamaan (2-32) dan (2-34) kita peroleh harga  $T_{C,O}$  :

$$T_{C,O} = \frac{0}{20.(4,19)} + 27 = 27 {}^{\circ}\text{C}$$

b. Kalor

1) Kalor yang diperoleh kolektor ( $Q_U$ )

dari persamaan (2-34) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{U,1} = \frac{20.(4,19).1.(27 - 27)}{3,6} = 0 W$$

2) Kalor yang hilang ( $Q_{env}$ )

dari persamaan (2-35) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{env,1} = (4,3).(0,75).(27 - 25) = 6,45 W$$

3) Kalor yang untuk beban ( $Q_L$ )

dari persamaan (2-35) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{L,1} = \frac{5.(4,19).(27 - 27)}{3,6} = 0 W$$

c. Temperatur tangki penyimpan panas

$T_{S,1}$  untuk permulaan =  $27 {}^{\circ}\text{C}$ , untuk 1 jam berikutnya dapat dicari dengan persamaan (2-37) :

$$T_{s,1} = 27 + \frac{1}{125.(4,19)}.(0 - (6,45) - (69,83)) = 26,96 {}^{\circ}\text{C}$$

2. untuk tingkat kedua

a. Kalor

1) Kalor yang diperoleh kolektor ( $Q_U$ )

dari persamaan (2-34) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{U,2} = \frac{20.(4,19).1.(27 - 27)}{3,6} = 0 W$$

2) Kalor yang hilang ( $Q_{env}$ )

dari persamaan (2-36) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{env,2} = 125.(4,19).(27 - 15) = 6,45 W$$

3) Kalor yang untuk beban ( $Q_L$ )

dari persamaan (2-36) diperoleh harga  $Q_U$  :

$$Q_{L,2} = \frac{5.(4,19).(27 - 15)}{3,6} = 157,13 W$$

b. Temperatur tangki penyimpan panas

$T_{S,2}$  untuk permulaan =  $27^{\circ}\text{C}$ , untuk 1 jam berikutnya dapat dicari dengan persamaan (2-38) :

$$T_{s,2} = 27 + \frac{1}{125.(4,19)} \cdot (0 - (6,45) - (157,13)) = 25,88^{\circ}\text{C}$$

sebagai hasil akhir, kalor tingkat pertama dijumlahkan dengan kalor tingkat kedua :

$$Q_U = 0$$

$$Q_{env} = (6,45) + (6,45) = 12,9 W$$

$$Q_L = 0 + (157,13) = 157,13 W$$

untuk jam-jam berikutnya juga digunakan langkah yang sama dan hasilnya diberikan dalam tabel (termasuk grafiknya) berikut :

Madison 15 Januari 1997

Waktu jam		$\Delta\tau$ jam	H W/m <sup>2</sup>	T <sub>a</sub> °C	T <sub>c</sub> °C	T <sub>p</sub> °C	T <sub>s</sub> °C	U <sub>L</sub> W/m <sup>2</sup> .K	I <sub>bT</sub> W/m <sup>2</sup>	I <sub>dT</sub> W/m <sup>2</sup>	I <sub>rT</sub> W/m <sup>2</sup>	HR W/m <sup>2</sup>	S W/m <sup>2</sup>	Q <sub>U</sub> W	Efficiency Hours	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	$\Sigma Q$ W	$\Delta T$ °C
7-8	7:30	1	14	-1	-1.00	-1.00	27.00	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	69.83	-82.73	-0.57	
8-9	8:30	1	76	0	-0.01	-0.94	26.43	1.18	220.44	12.49	3.39	236.32	177.52	213.53	0.45	12.90	69.83	130.80	0.90
9-10	9:30	1	174	2	2.06	8.27	27.33	1.80	369.24	28.58	7.77	405.60	319.22	403.69	0.50	9.23	66.52	327.94	2.25
10-11	10:30	1	306	4	4.54	23.86	29.58	2.80	575.55	50.27	13.66	639.49	514.93	659.70	0.52	15.03	71.76	572.92	3.94
11-12	11:30	1	449	10	11.59	47.10	33.52	3.80	806.14	73.76	20.05	899.95	727.94	958.79	0.53	29.57	84.87	844.35	5.80
12-13	12:30	1	461	10	14.57	75.02	39.33	5.02	827.68	75.73	20.58	924.00	747.39	923.26	0.50	54.97	107.79	760.50	5.23
13-14	13:30	1	389	8	16.99	93.99	44.55	5.67	731.67	63.90	17.37	812.94	654.60	699.64	0.43	92.40	141.56	465.67	3.20
14-15	14:30	1	275	8	19.81	101.56	47.75	5.79	583.57	45.18	12.28	641.03	504.52	429.57	0.34	126.12	171.98	131.47	0.90
15-16	15:30	1	127	6	19.21	99.35	48.66	5.70	368.36	20.86	5.67	394.90	296.65	85.94	0.11	146.76	190.61	-251.44	-1.73
16-17	16:30	1	21	4	16.24	88.15	46.93	5.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.59	195.87	-348.46	-2.40
17-18	17:30	1	0	2	13.52	67.60	44.53	4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	141.45	185.81	-327.26	
Total									4954.21	3942.77	4374.14					793.93	1356.45	2223.76	
Efficiency day 0.44																			

Tabel 1. Hasil perhitungan tanpa perbesaran

Waktu jam		T <sub>c,o</sub> °C	T <sub>s</sub> °C	Q <sub>U</sub> W	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	ΣQ W
7-8	7:30	27.00	27.00	0.00	12.90	69.83	-82.73
8-9	8:30	36.17	26.43	213.53	12.90	69.83	130.80
9-10	9:30	43.77	27.33	403.69	9.23	66.52	327.94
10-11	10:30	55.67	29.58	659.70	15.03	71.76	572.92
11-12	11:30	70.77	33.52	958.79	29.57	84.87	844.35
12-13	12:30	73.19	39.33	923.26	54.97	107.79	760.50
13-14	13:30	69.38	44.55	699.64	92.40	141.56	465.67
14-15	14:30	63.01	47.75	429.57	126.12	171.98	131.47
15-16	15:30	51.45	48.66	85.94	146.76	190.61	-251.44
16-17	16:30	48.66	46.93	0.00	152.59	195.87	-348.46
17-18	17:30	46.93	44.53	0.00	141.45	185.81	-327.26

Tabel 2. Tangki penyimpan panas tak bertingkat

Waktu jam		T <sub>c,o</sub> °C	T <sub>s,1</sub> °C	T <sub>s,2</sub> °C	Q <sub>U</sub> W	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	ΣQ W
7-8	7:30	27.00	27.00	27.00	0.00	25.80	157.13	-182.93
8-9	8:30	35.00	26.91	25.83	213.53	25.80	157.13	30.60
9-10	9:30	43.54	26.82	26.13	405.28	17.69	156.61	230.98
10-11	10:30	53.72	29.37	25.17	664.63	19.05	156.09	489.49
11-12	11:30	66.99	33.16	24.75	983.37	29.29	170.92	783.17
12-13	12:30	67.52	38.21	25.08	987.85	52.62	192.96	742.27
13-14	13:30	61.34	42.20	26.19	818.18	85.71	222.36	510.11
14-15	14:30	52.90	44.15	27.74	585.58	118.62	245.58	221.38
15-16	15:30	40.15	44.15	29.27	346.35	141.23	256.94	-51.82
16-17	16:30	30.42	42.64	30.42	0.00	151.05	256.92	-407.97
17-18	17:30	29.06	41.20	29.06	0.00	148.75	248.16	-396.91

Tabel 3. Tangki penyimpan panas bertingkat 2

Untuk perbesaran 2 kali ( $2A_s$  dan  $2m_s$ ) dan  $\beta = 30^\circ$  juga digunakan langkah yang sama dan hasilnya diberikan dalam tabel (termasuk grafiknya) berikut :

Madison 15 Januari 1997

Waktu jam		$\Delta\tau$ jam	H W/m <sup>2</sup>	T <sub>a</sub> °C	T <sub>c</sub> °C	T <sub>p</sub> °C	T <sub>s</sub> °C	U <sub>L</sub> W/m <sup>2</sup> .K	I <sub>bT</sub> W/m <sup>2</sup>	I <sub>dT</sub> W/m <sup>2</sup>	I <sub>rT</sub> W/m <sup>2</sup>	HR W/m <sup>2</sup>	S W/m <sup>2</sup>	Q <sub>U</sub> W	Efficiency Hours	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	$\Sigma Q$ W	$\Delta T$ °C
7-8	7:30	1	14	-1	-1.00	-1.00	27.00	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.90	69.83	-82.73	-0.28
8-9	8:30	1	76	0	-0.01	-0.88	26.72	1.19	171.03	14.18	1.27	186.48	133.74	298.90	0.80	12.90	69.83	216.17	0.74
9-10	9:30	1	174	2	2.11	12.65	27.46	2.17	303.15	32.47	2.91	338.54	256.76	596.75	0.88	11.07	68.18	517.50	1.78
10-11	10:30	1	306	4	5.17	34.98	29.24	3.57	484.96	57.10	5.12	547.19	428.55	1013.23	0.93	15.86	72.50	924.87	3.18
11-12	11:30	1	449	10	13.30	64.67	32.42	4.79	686.54	83.78	7.52	777.85	617.67	1544.52	0.99	27.33	82.85	1434.34	4.93
12-13	12:30	1	461	10	17.93	94.01	37.35	5.90	704.89	86.02	7.72	798.64	634.18	1474.90	0.92	47.83	101.35	1325.72	4.56
13-14	13:30	1	389	8	20.20	103.89	41.90	6.18	616.51	72.59	6.51	695.61	544.79	1067.91	0.77	79.63	130.04	858.25	2.95
14-15	14:30	1	275	8	20.87	100.18	44.85	5.95	479.12	51.32	4.61	535.05	405.80	600.18	0.56	109.01	156.55	334.61	1.15
15-16	15:30	1	127	6	17.99	88.14	46.00	5.55	285.79	23.70	2.13	311.62	223.49	23.47	0.04	128.04	173.72	-278.29	-0.96
16-17	16:30	1	21	4	13.12	68.79	45.04	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.46	180.41	-315.86	-1.09
17-18	17:30	1	0	2	8.40	42.60	43.96	3.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.29	174.84	-304.13	
Total										4190.96	3244.99	6619.86				709.30	1280.10	4630.45	
Efficiency day																			
0.79																			

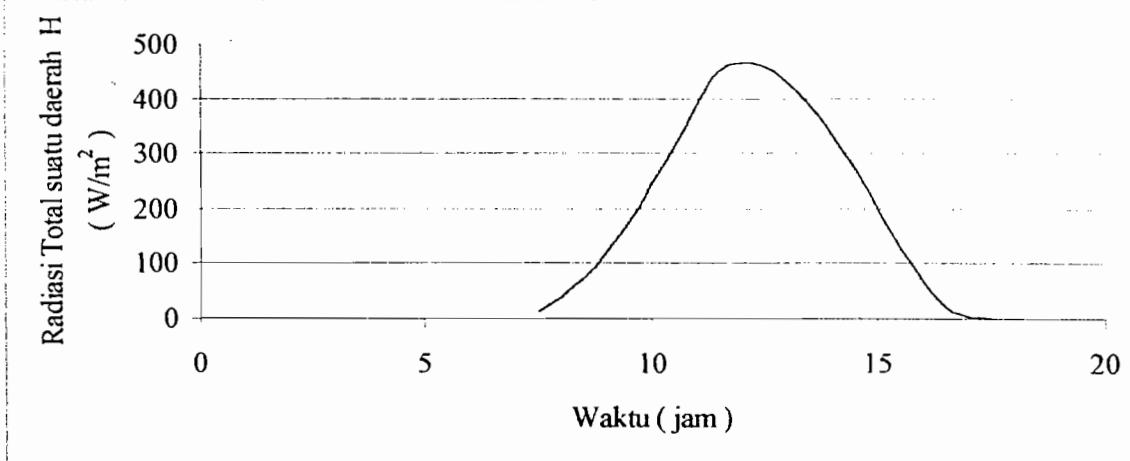
Tabel 4. Hasil perhitungan dengan perbesaran 2 kali

Waktu jam		T <sub>C,O</sub> °C	T <sub>S</sub> °C	Q <sub>U</sub> W	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	ΣQ W
7-8	7:30	27.00	27.00	0.00	12.90	69.83	-82.73
8-9	8:30	33.43	26.43	149.57	12.90	69.83	66.84
9-10	9:30	40.14	26.89	319.12	9.23	66.52	243.36
10-11	10:30	50.40	28.56	547.30	12.20	69.20	465.91
11-12	11:30	63.64	31.77	816.44	22.98	78.93	714.52
12-13	12:30	65.52	36.68	785.74	43.64	97.57	644.53
13-14	13:30	61.54	41.11	578.75	75.32	126.15	377.28
14-15	14:30	55.43	43.70	333.31	103.89	151.93	77.49
15-16	15:30	45.11	44.23	32.85	120.62	167.02	-254.80
16-17	16:30	44.23	42.48	0.00	124.05	170.12	-294.18
17-18	17:30	42.48	40.46	0.00	112.76	159.93	-272.69

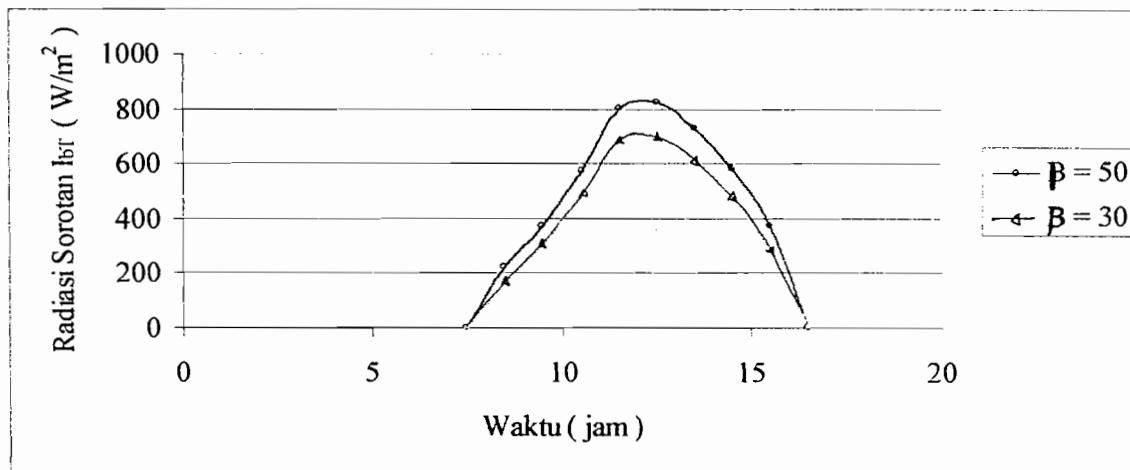
Tabel 5. Tangki penyimpan panas tak bertingkat

Waktu jam		T <sub>C,O</sub> °C	T <sub>S,1</sub> °C	T <sub>S,2</sub> °C	Q <sub>U</sub> W	Q <sub>env</sub> W	Q <sub>L</sub> W	ΣQ W
7-8	7:30	27.00	27.00	27.00	0.00	25.80	157.13	-182.93
8-9	8:30	32.26	26.91	25.83	149.57	25.80	157.13	-33.36
9-10	9:30	39.46	26.82	25.69	318.48	17.69	156.61	144.18
10-11	10:30	48.50	28.70	24.80	595.39	16.21	156.09	423.09
11-12	11:30	60.24	32.04	24.37	912.73	23.88	167.03	721.81
12-13	12:30	60.49	36.77	24.60	945.43	45.44	186.48	713.51
13-14	13:30	54.45	40.70	25.58	763.69	75.92	213.98	473.79
14-15	14:30	46.63	42.52	27.01	499.08	104.99	236.87	157.22
15-16	15:30	35.48	42.17	28.45	319.49	126.00	247.46	-53.97
16-17	16:30	29.47	40.77	29.47	0.00	132.97	245.41	-378.38
17-18	17:30	28.18	39.46	28.18	0.00	130.58	237.28	-367.85

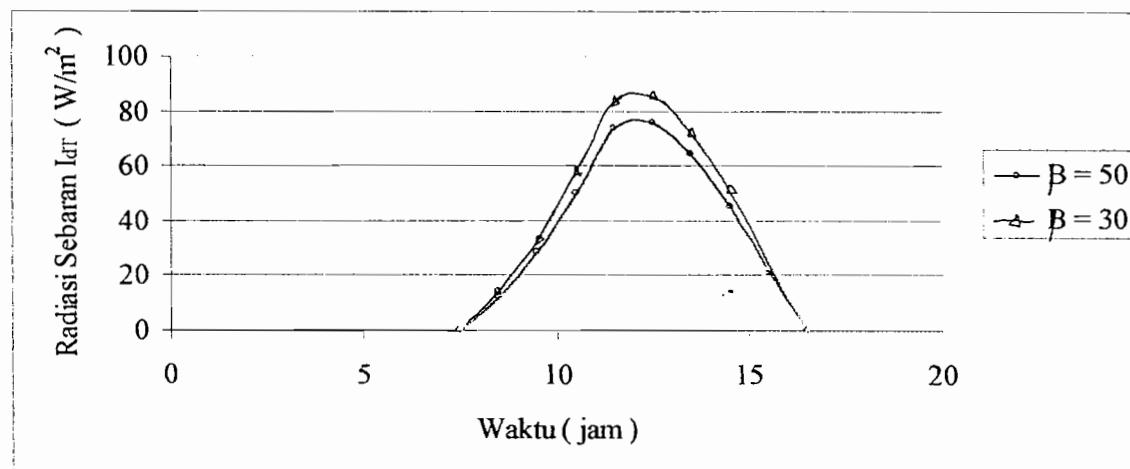
Tabel 6. Tangki penyimpan panas bertingkat 2



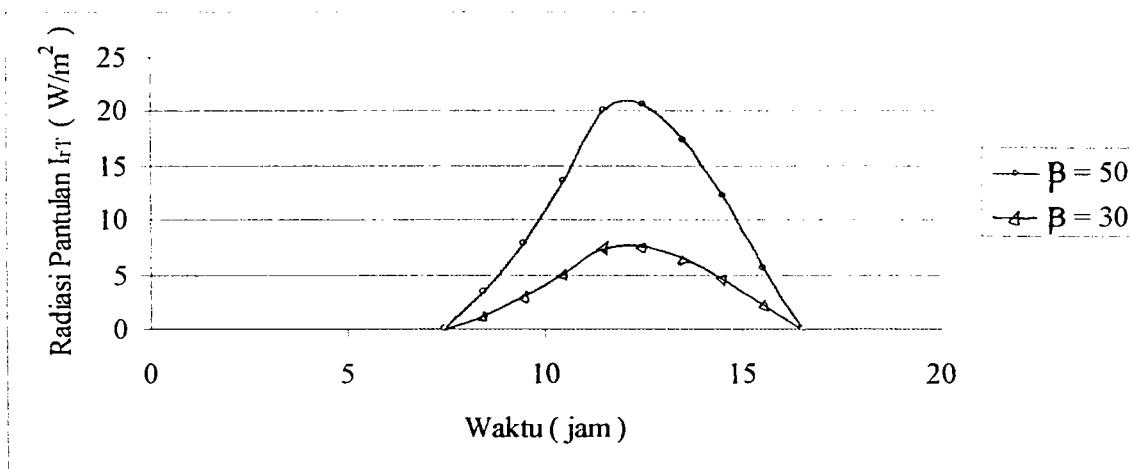
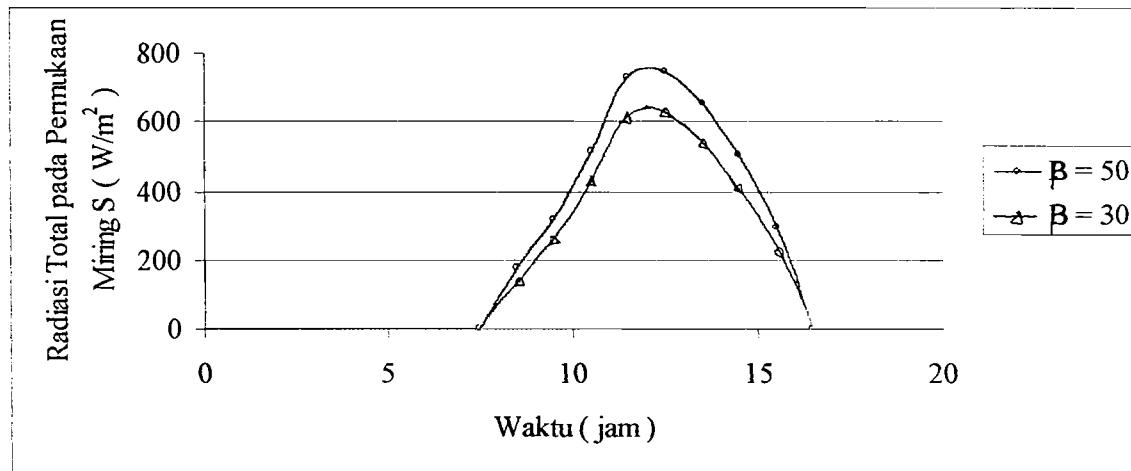
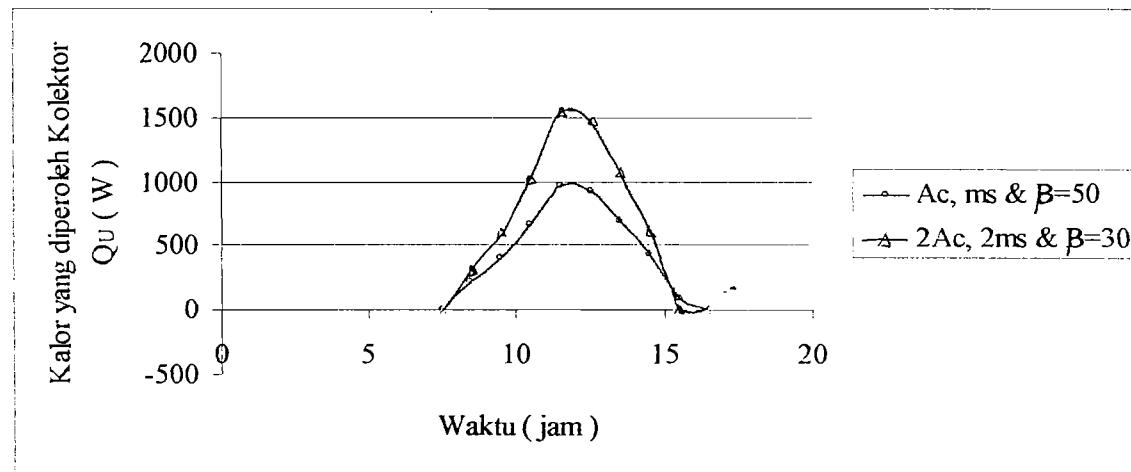
Grafik 4. Data radiasi matahari pada suatu daerah H

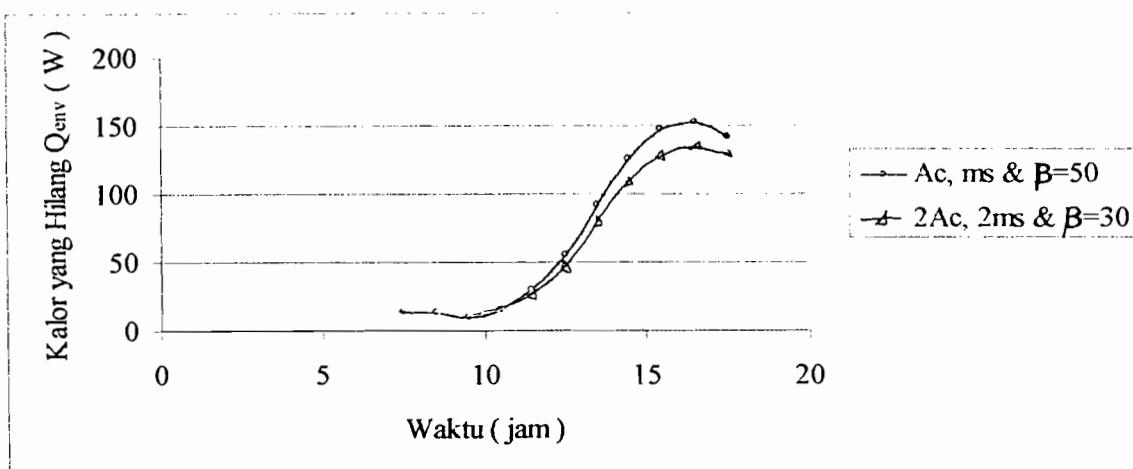
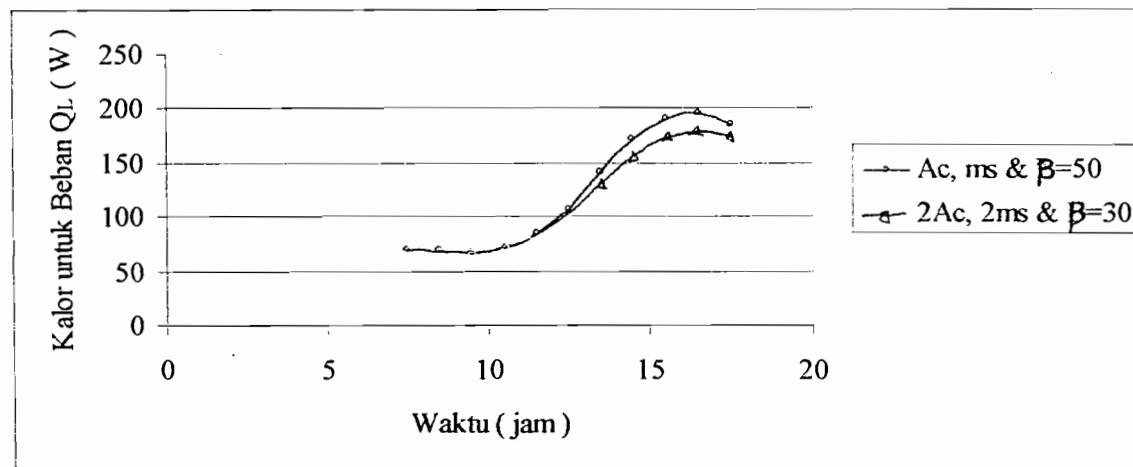
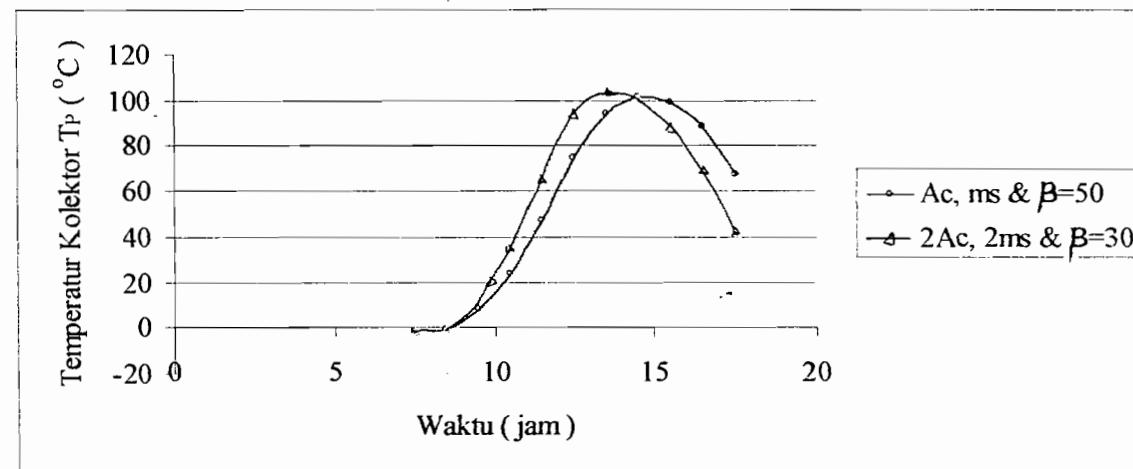


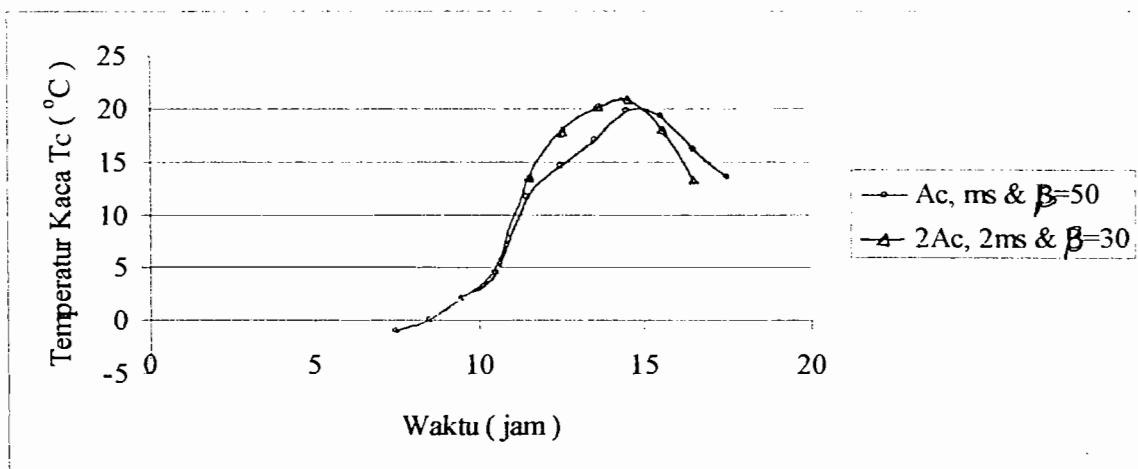
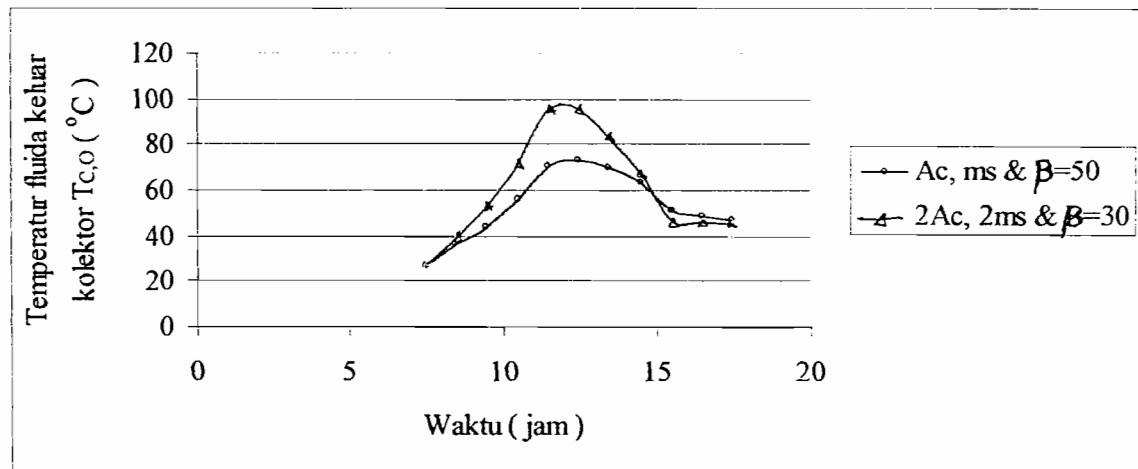
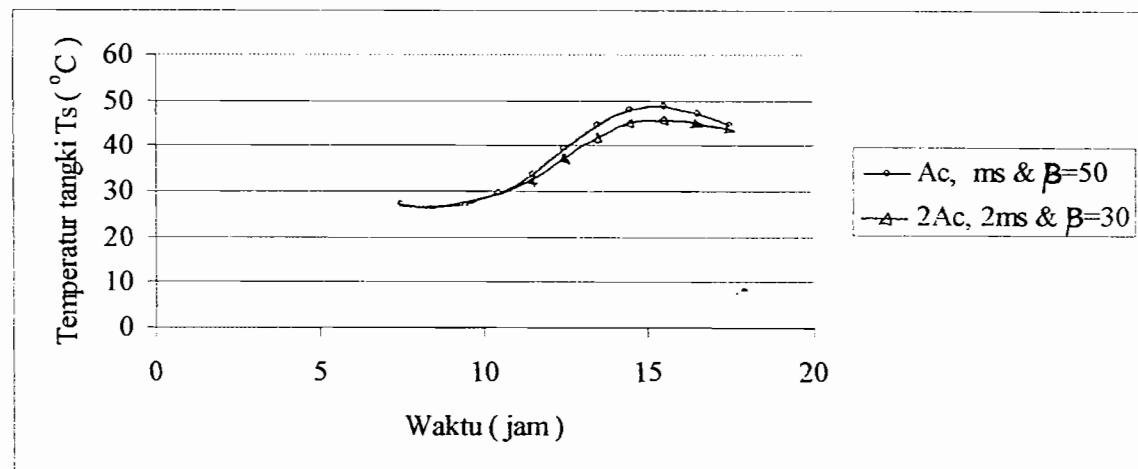
Grafik 5. Radiasi sorotan I<sub>BT</sub>

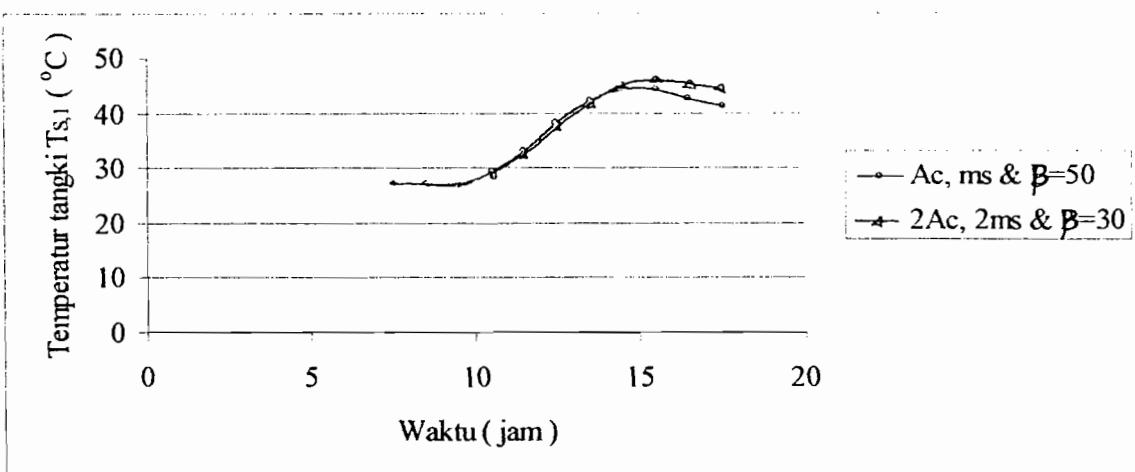


Grafik 6. Radiasi sebaran I<sub>dT</sub>

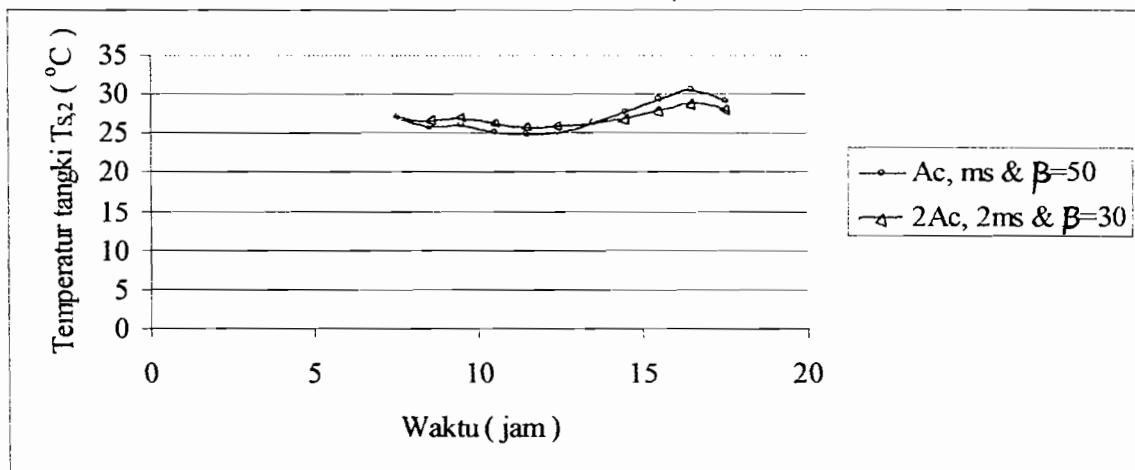
Grafik 7. Radiasi pantulan  $I_{rT}$ Grafik 8. Radiasi matahari total pada permukaan miring  $S$ Grafik 9. Kalor yang diperoleh kolektor  $Q_U$

Grafik 10. Kalor yang hilang  $Q_{env}$ Grafik 11. Kalor untuk fluida beban  $Q_L$ Grafik 12. Temperatur kolektor  $T_P$

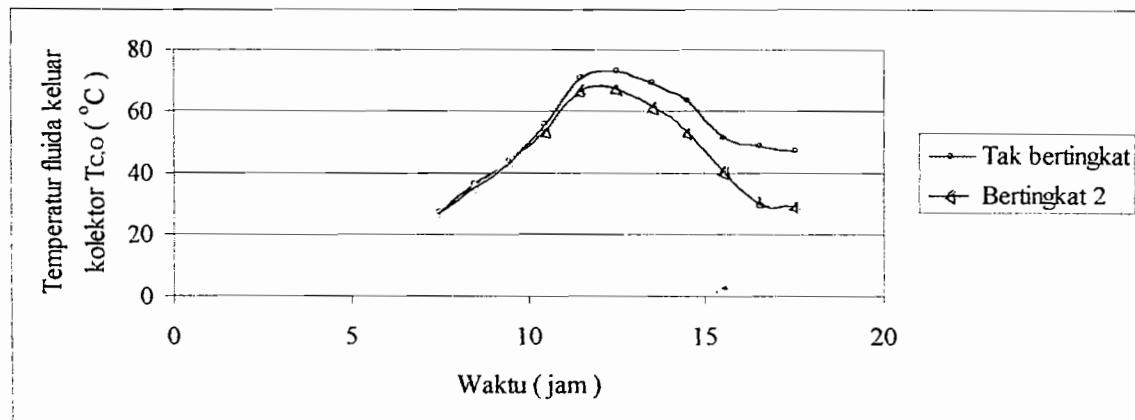
Grafik 13. Temperatur kaca penutup  $T_c$ Grafik 14. Temperatur fluida keluar kolektor  $T_{c,o}$ Grafik 15. Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas  $T_s$



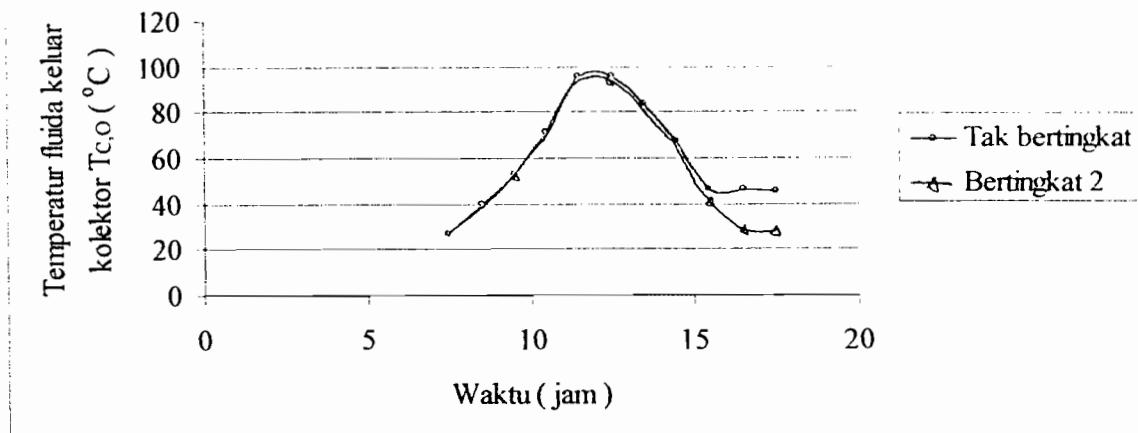
Grafik 16. Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas tingkat 1  $T_{S,1}$



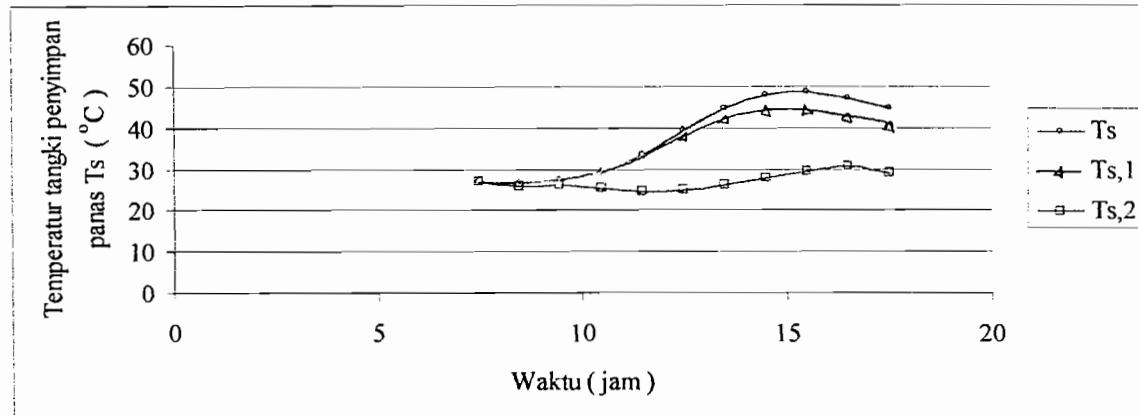
Grafik 17. Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas tingkat 2  $T_{S,2}$



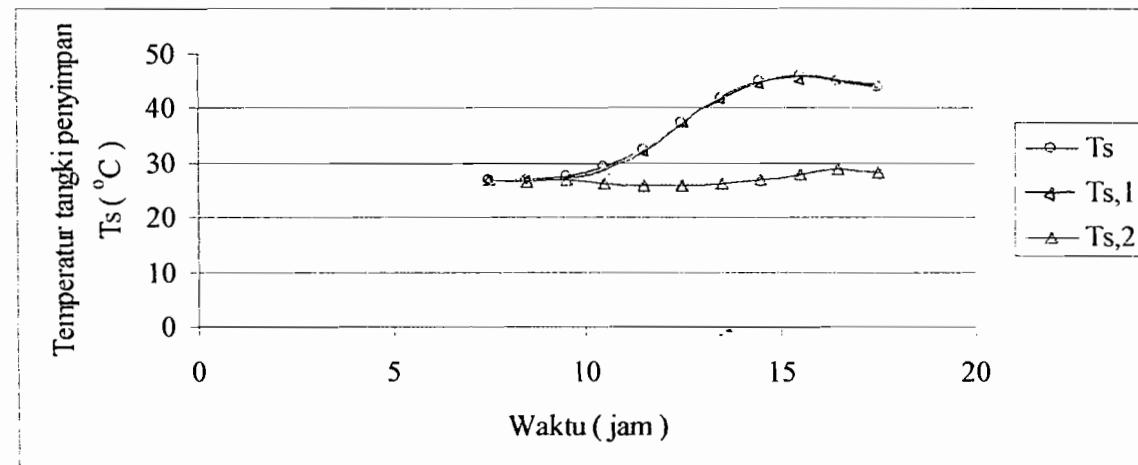
Grafik 18. Temperatur fluida keluar kolektor  $T_{C,O}$  (kondisi  $Ac, m_S$  dan  $\beta=50^\circ$ )



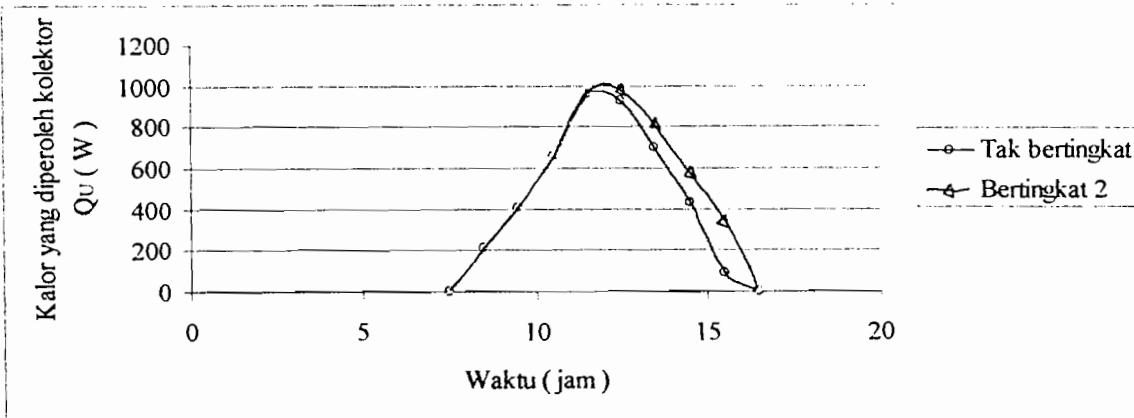
Grafik 19. Temperatur fluida keluar kolektor  $T_{c,o}$  (kondisi 2Ac,  $m_s$  dan  $\beta=30^{\circ}$ )



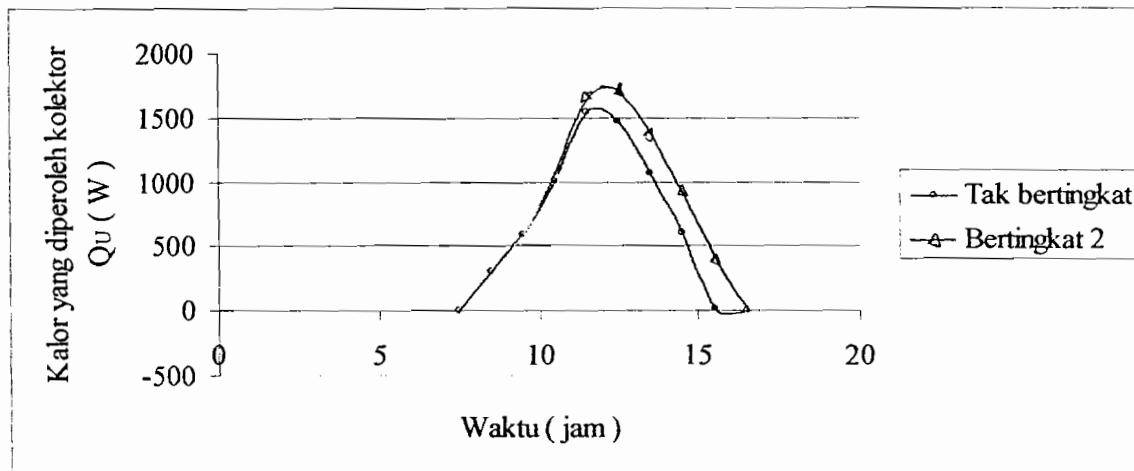
Grafik 20. Temperatur fluida pada tangki penyimpanan  $T_s$  (kondisi Ac,  $m_s$  dan  $\beta=50^{\circ}$ )



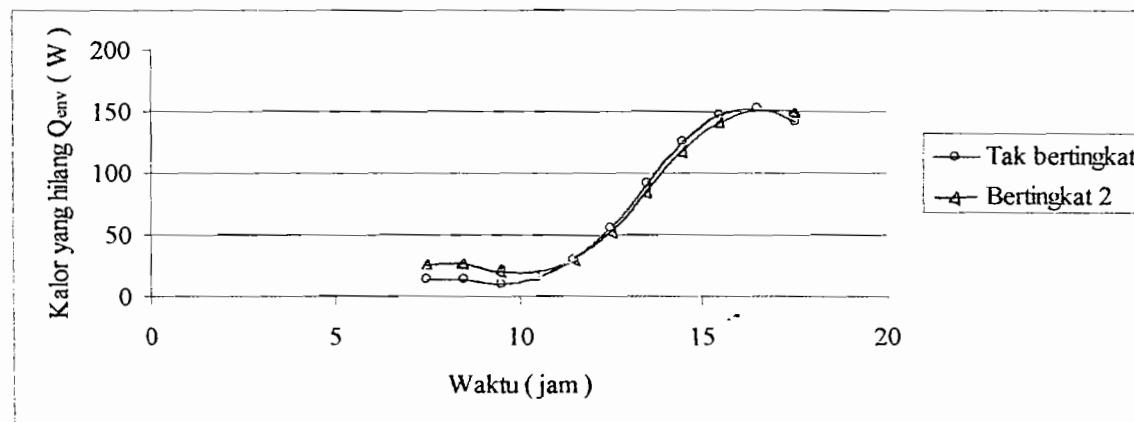
Grafik 21. Temperatur fluida pada tangki penyimpanan  $T_s$  (kondisi 2Ac,  $2m_s$  dan  $\beta=30^{\circ}$ )



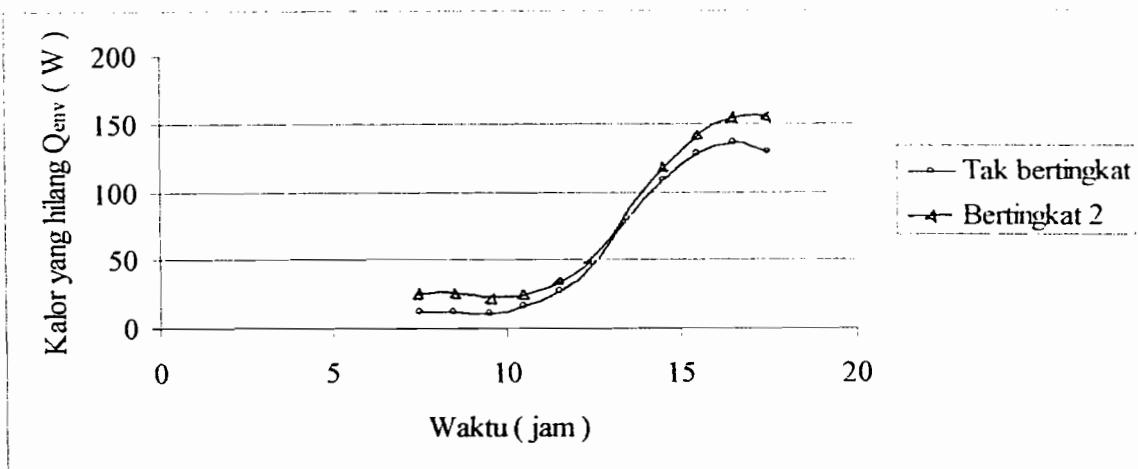
Grafik 22. Kalor yang diperoleh kolektor  $Q_U$  (kondisi Ac,  $m_S$  dan  $\beta=50^\circ$ )



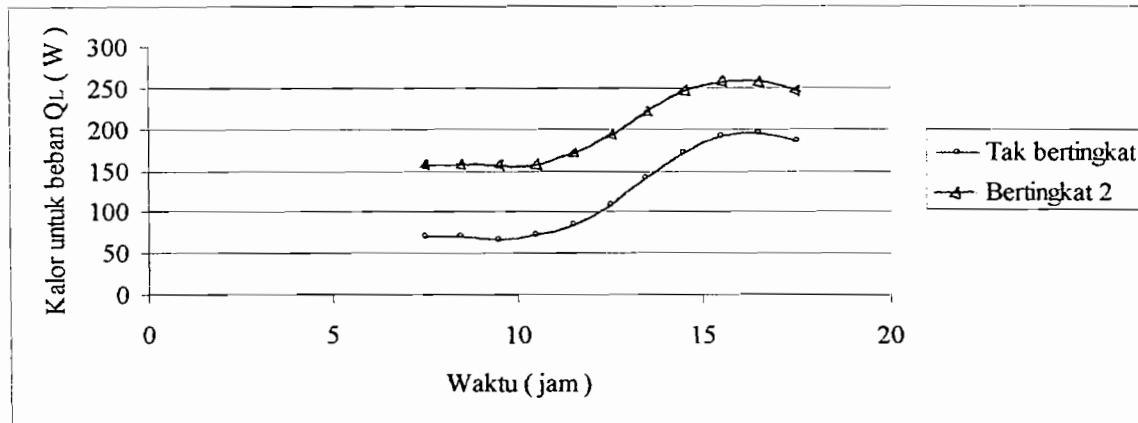
Grafik 23. Kalor yang diperoleh kolektor  $Q_U$  (kondisi 2Ac,  $2m_S$  dan  $\beta=30^\circ$ )



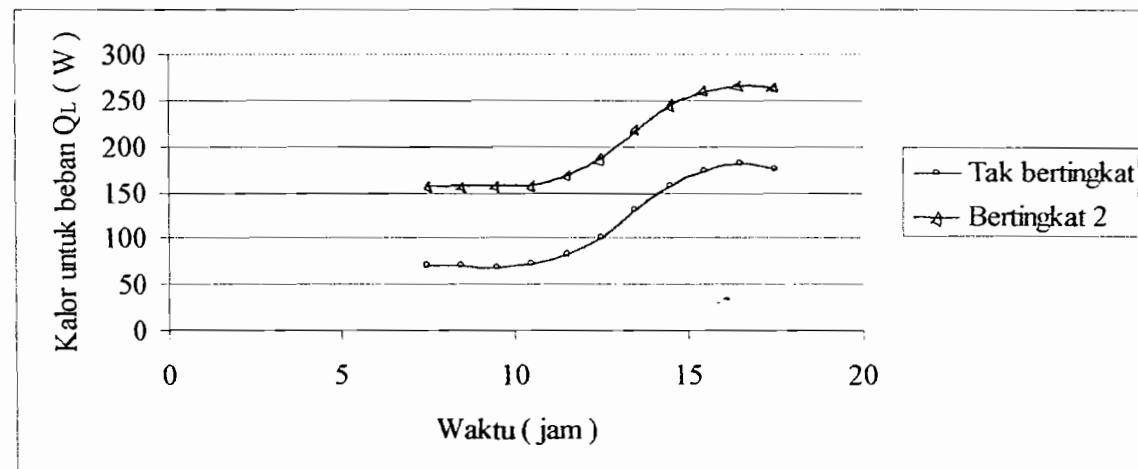
Grafik 24. Kalor yang hilang  $Q_{env}$  (kondisi Ac,  $m_S$  dan  $\beta=50^\circ$ )



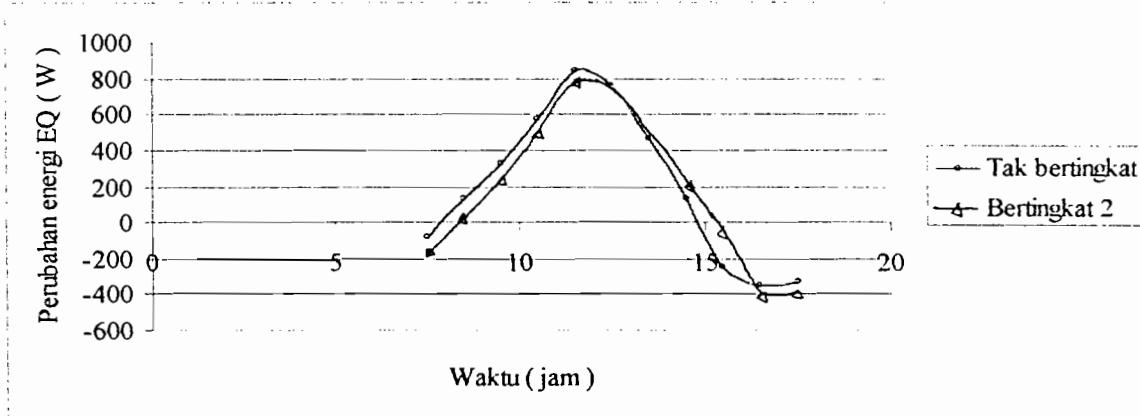
Grafik 25. Kalor yang hilang  $Q_{env}$  (kondisi 2Ac,  $2m_S$  dan  $\beta=30^\circ$ )



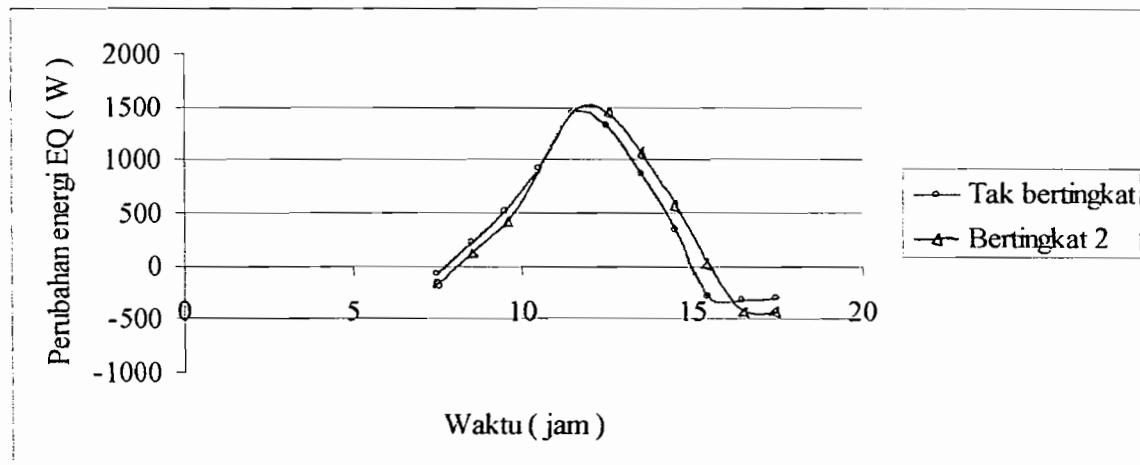
Grafik 26. Kalor untuk beban  $Q_L$  (kondisi Ac,  $m_S$  dan  $\beta=50^\circ$ )



Grafik 27. Kalor untuk beban  $Q_L$  (kondisi 2Ac,  $2m_S$  dan  $\beta=30^\circ$ )



Grafik 28. Perubahan energi  $\Sigma Q$  (kondisi  $Ac$ ,  $m_S$  dan  $\beta=50^\circ$ )



Grafik 29. Perubahan energi  $\Sigma Q$  (kondisi  $2Ac$ ,  $2m_S$  dan  $\beta=30^\circ$ )

## BAB IV

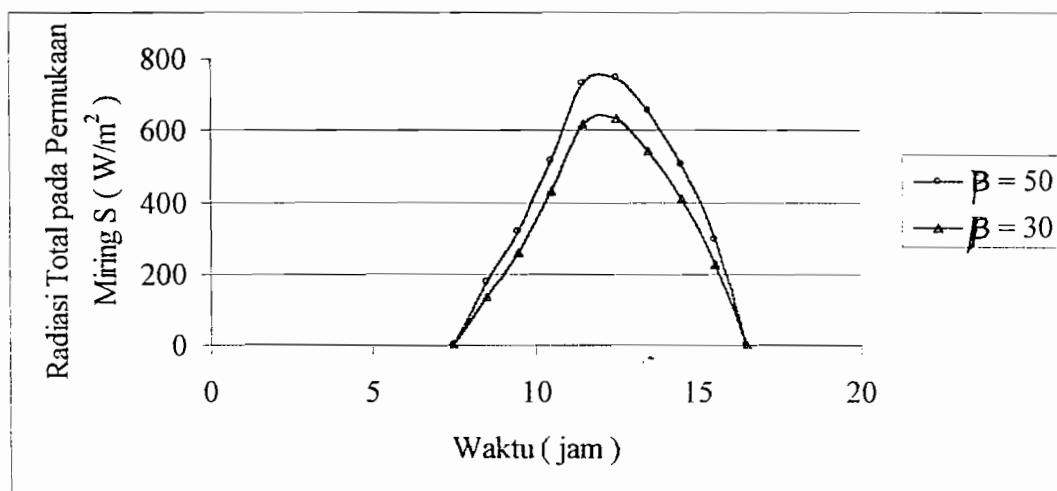
### PEMBAHASAN

Dari contoh kasus pada bab III “Pemodelan Pemanas Air Termosifon”, ada beberapa hal yang dapat penulis ambil untuk kita cermati bersama :

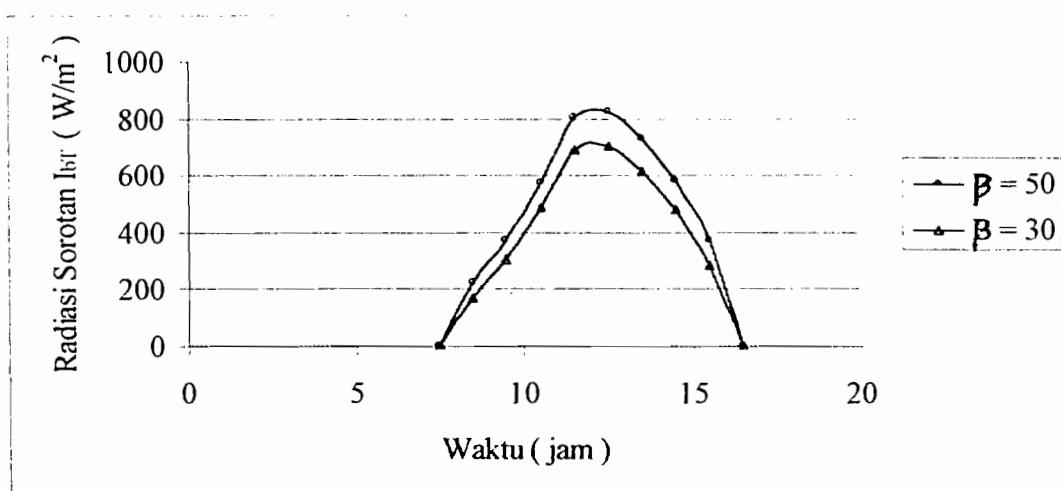
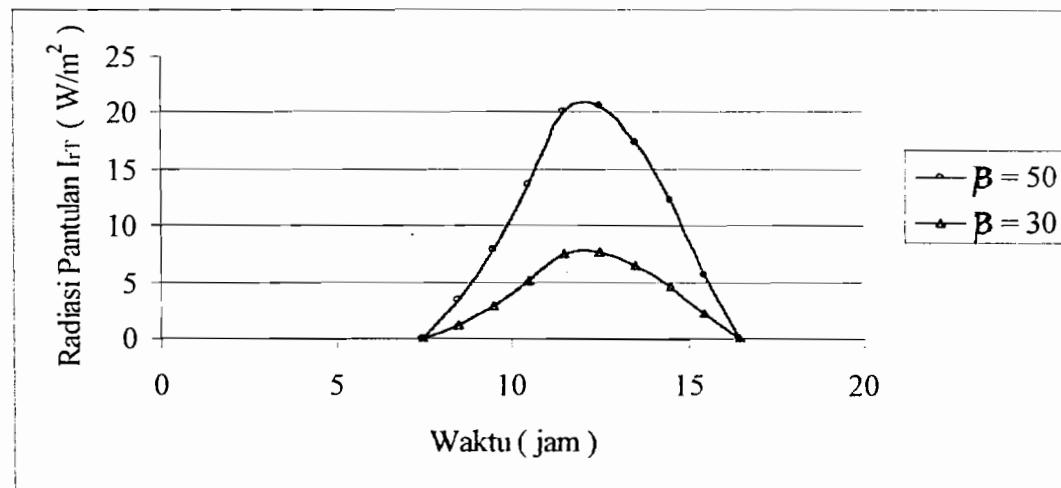
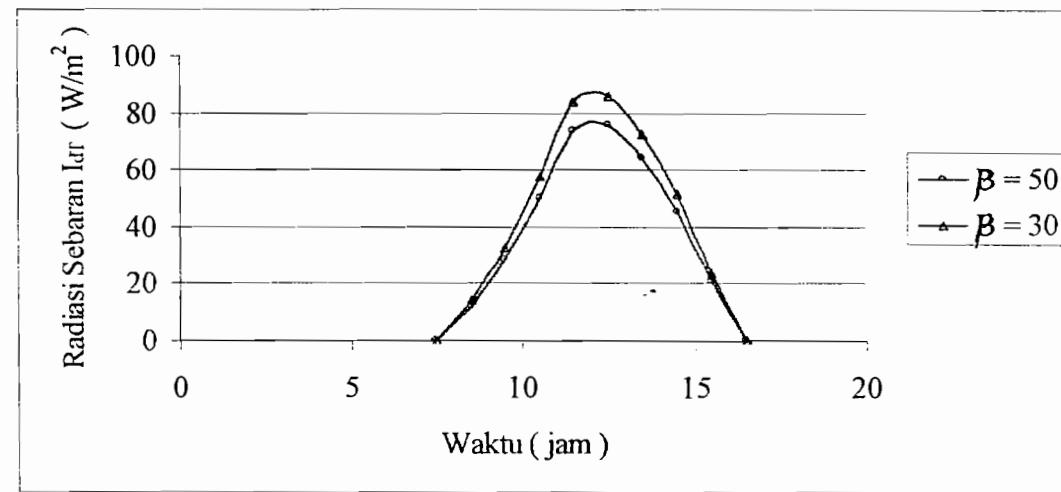
#### A. Radiasi Matahari

Radiasi matahari ini mempunyai kecenderungan grafik yang naik sampai maksimum di tengah hari kemudian bergerak turun.

Dari ketiga variabel yang dirubah, hanya  $\beta$  yang mempengaruhi perubahan harga radiasi matahari. Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $S$ ,  $I_{bT}$  dan  $I_{rT}$ , tetapi menaikkan harga  $I_{dT}$ , hal ini karena penurunan sudut  $\beta$  akan menyebabkan sudut masuk ( $\cos \theta_T$ ) juga semakin kecil dan  $\cos \beta$  yang semakin besar.



Grafik 30. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $S$

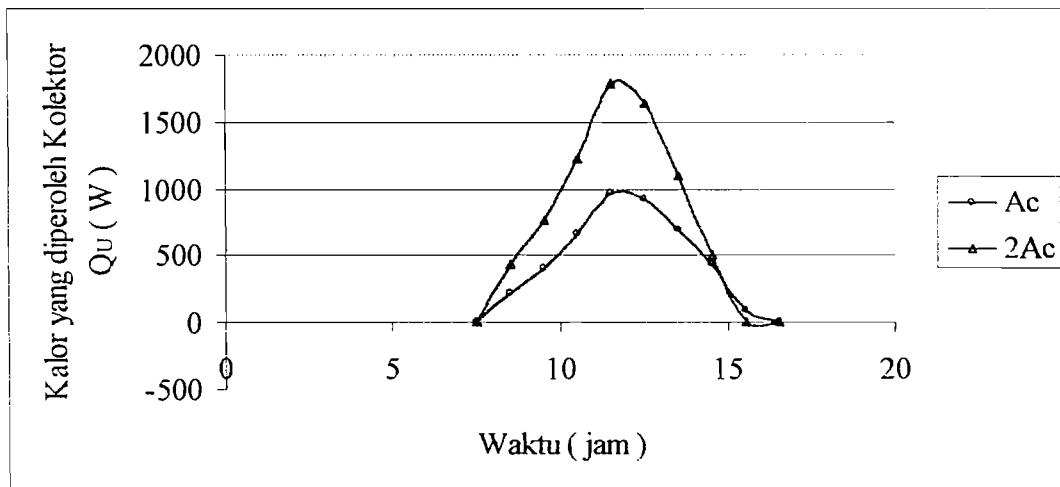
Grafik 31. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $I_{BT}$ Grafik 32. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $I_{FT}$ Grafik 33. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $I_{dT}$

## B. Kalor yang diperoleh Kolektor $Q_U$

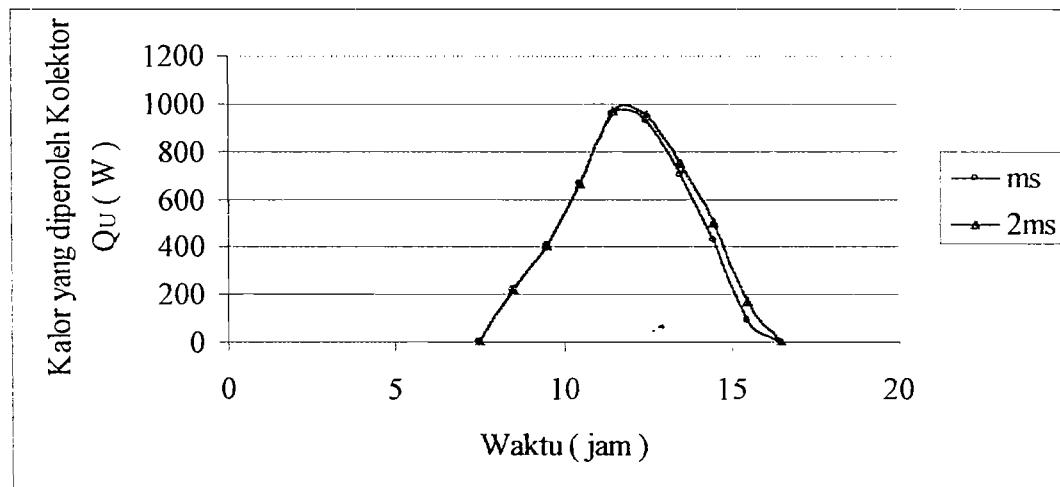
Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

### 1. $A_C$ dan $m_s$

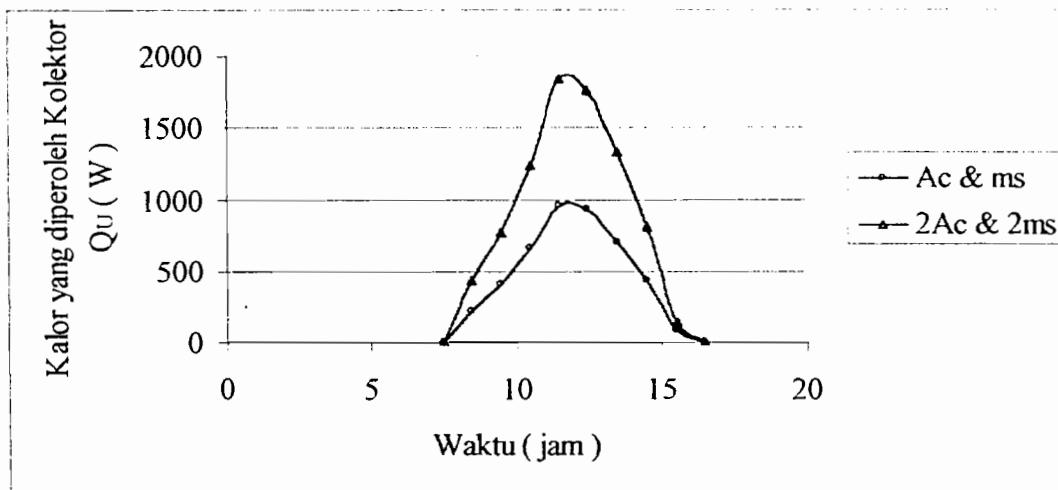
Perubahan kedua variabel ini (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $Q_U$ , hal ini karena pembesaran  $A_C$  akan menyebabkan semakin banyak energi matahari yang mampu diserap kolektor, sedangkan pembesaran  $m_s$  akan menurunkan harga  $T_s$ .



Grafik 34. Pengaruh  $A_C$  terhadap  $Q_U$



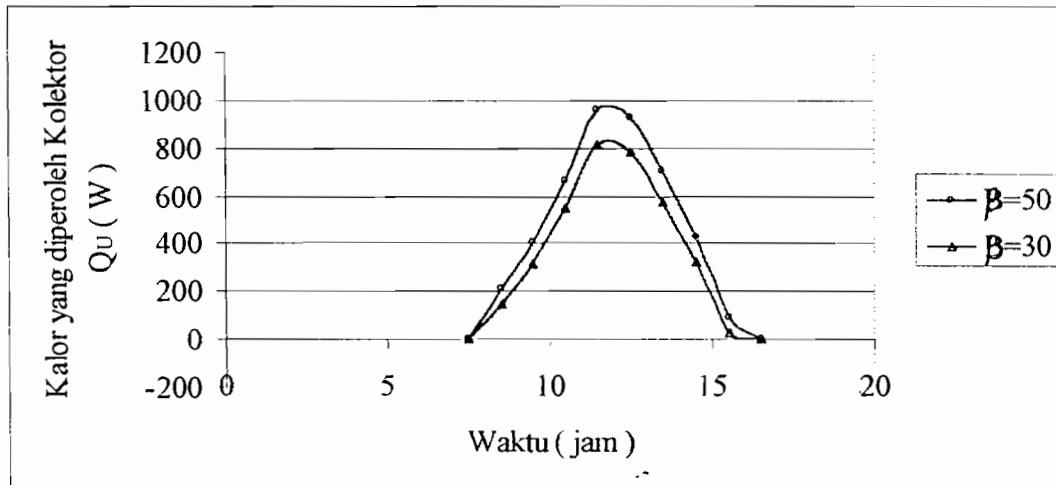
Grafik 35. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $Q_U$



Grafik 36. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $Q_U$

## 2. $\beta$

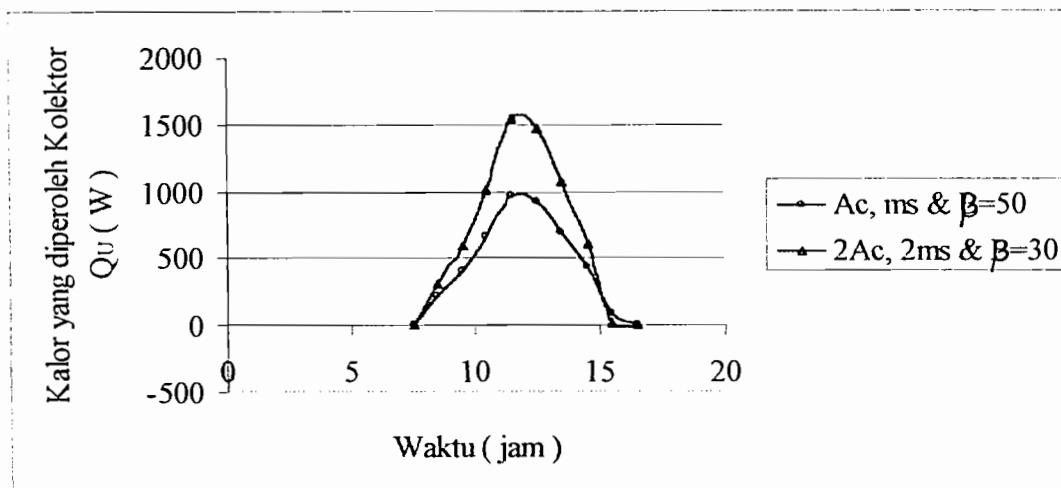
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $Q_U$ , hal ini karena jumlah energi matahari yang diserap kolektor (S) berkurang.



Grafik 37. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $Q_U$

### 3. $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menaikkan harga  $Q_U$ .



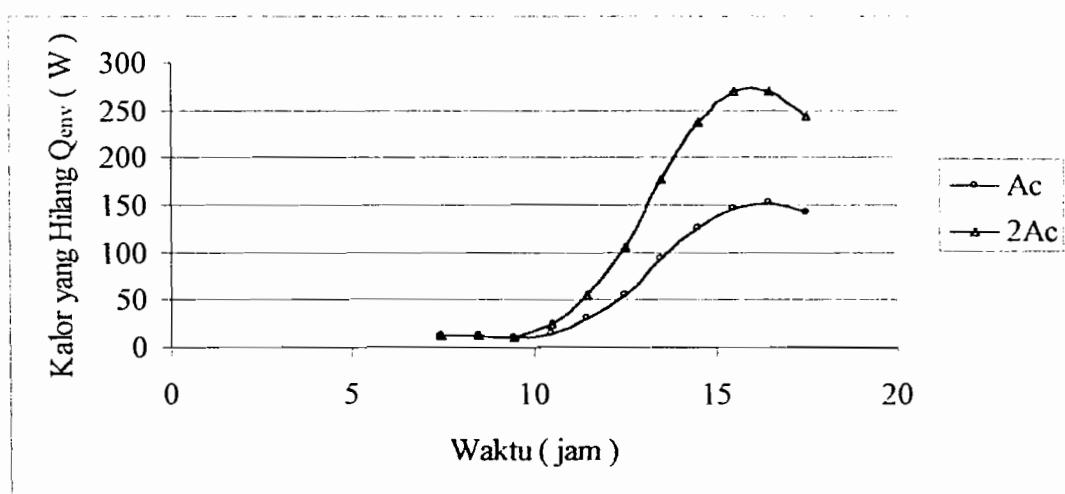
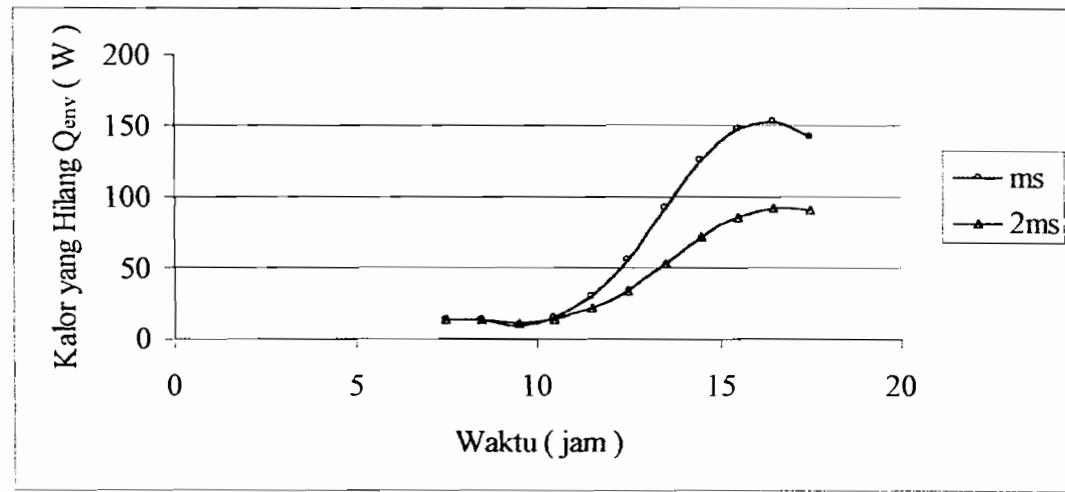
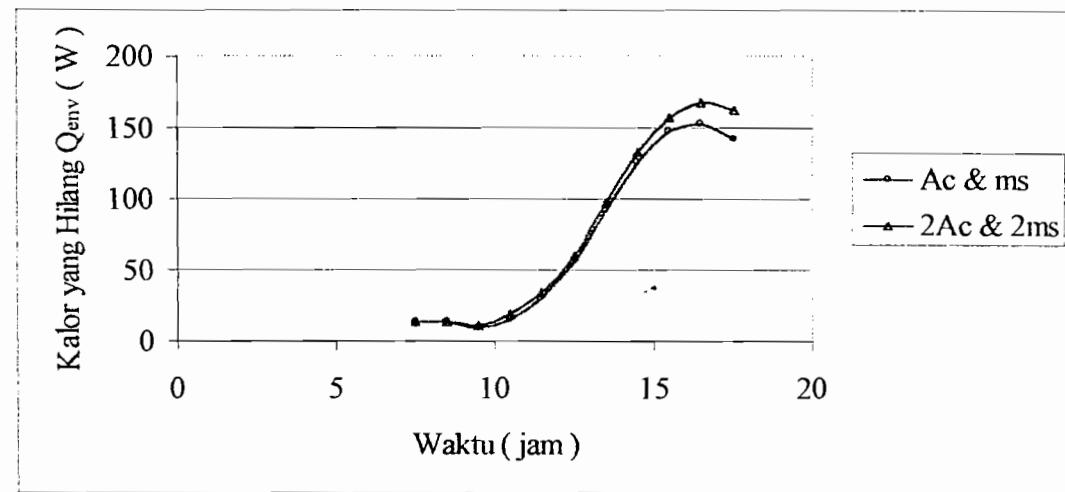
Grafik 38. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $Q_U$

### C. Kalor yang Hilang $Q_{env}$

Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

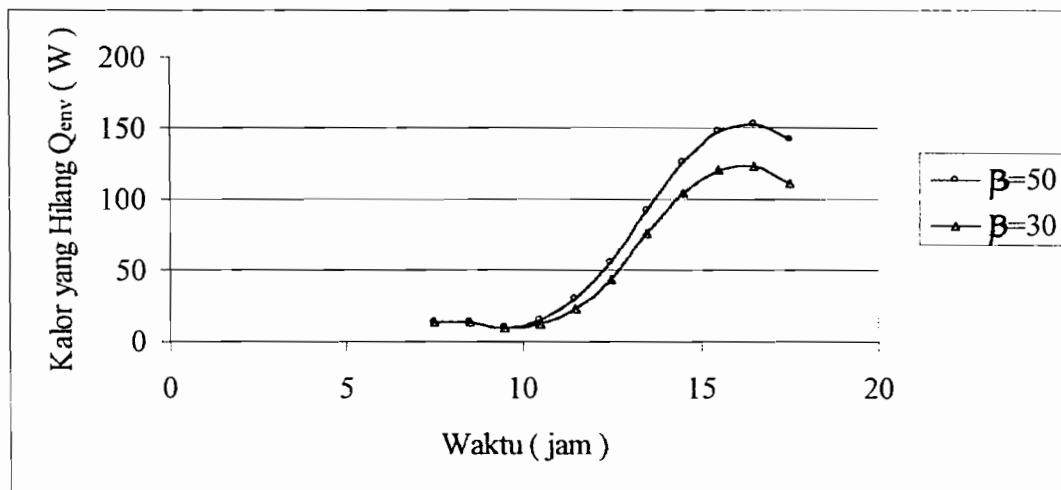
#### 1. $A_c$ dan $m_s$

Perubahan  $A_c$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $Q_{env}$ , hal ini jumlah energi matahari yang diserap bertambah besar sehingga  $T_s$  menjadi semakin besar (perbedaan temperatur antara tangki dengan lingkungan menjadi semakin besar). Sedangkan perubahan  $m_s$  (diperbesar 2 kali) akan menurunkan harga  $Q_{env}$ , hal ini karena temperatur  $T_s$  turun.

Grafik 39. Pengaruh Ac terhadap  $Q_{env}$ Grafik 40. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $Q_{env}$ Grafik 41. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $Q_{env}$

## 2. $\beta$

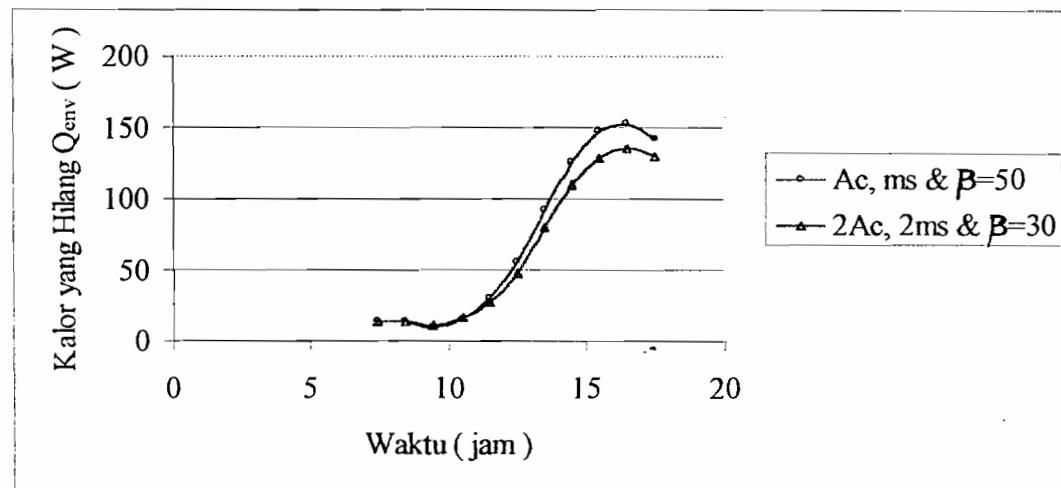
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $Q_{env}$ , hal ini karena jumlah energi matahari yang diserap kolektor ( $S$ ) berkurang.



Grafik 42. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $Q_{env}$

## 3. $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menurunkan harga  $Q_{env}$ .



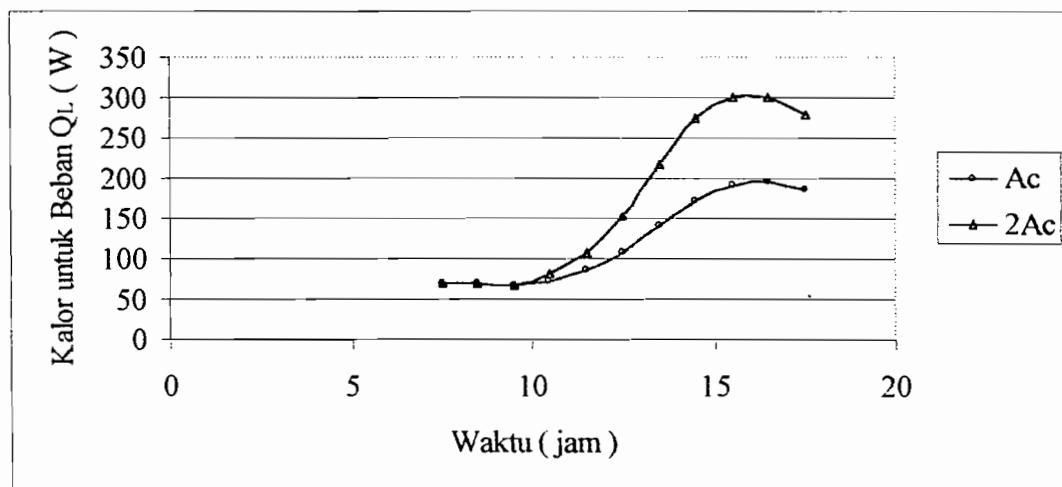
Grafik 43. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $Q_{env}$

#### D. Kalor untuk Beban $Q_L$

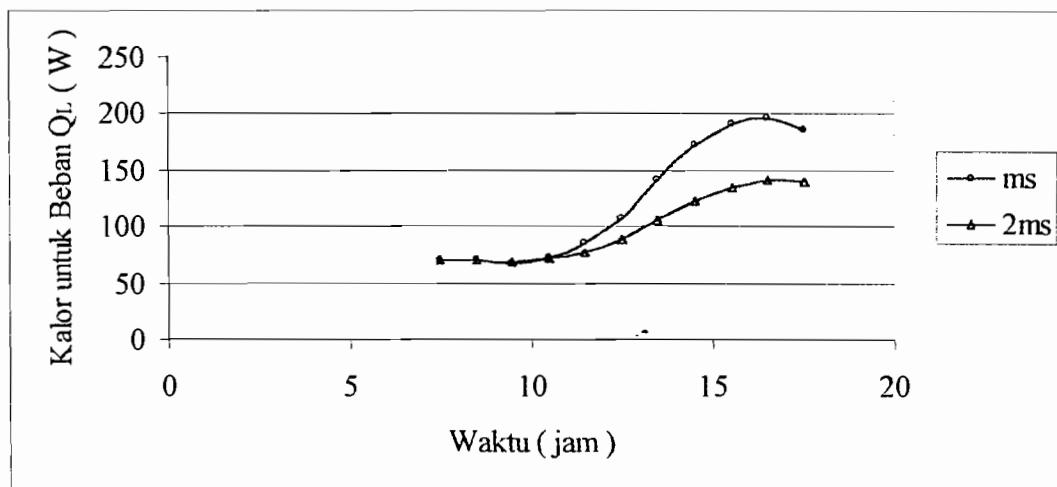
Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

##### 1. $A_C$ dan $m_S$

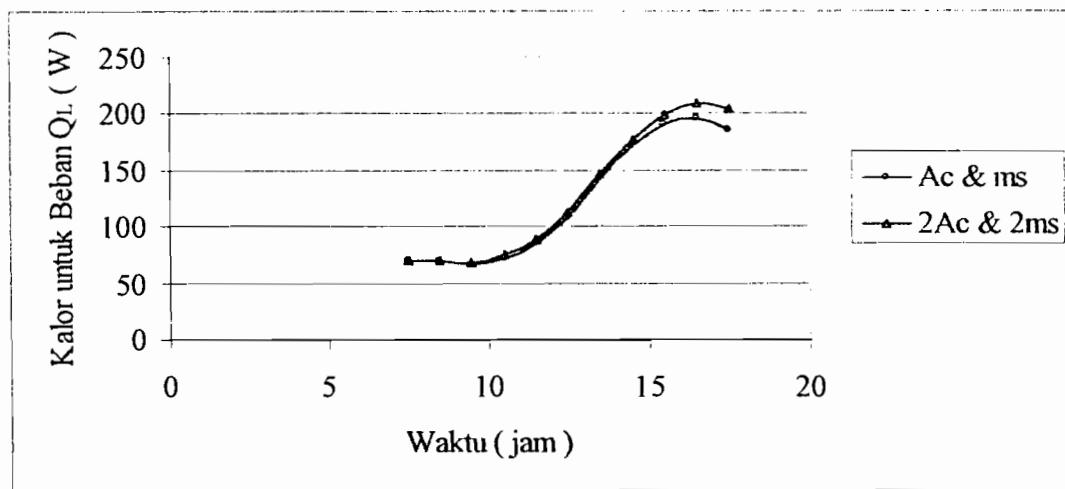
Perubahan variabel  $A_C$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $Q_L$ , hal ini karena kalor yang diserap kolektor bertambah besar besar sehingga  $T_s$  pun bertambah besar. Sedangkan perubahan variabel  $m_S$  (diperbesar 2 kali) akan menurunkan harga  $Q_L$ , hal ini karena temperatur  $T_s$  turun.



Grafik 44. Pengaruh  $A_C$  terhadap  $Q_L$



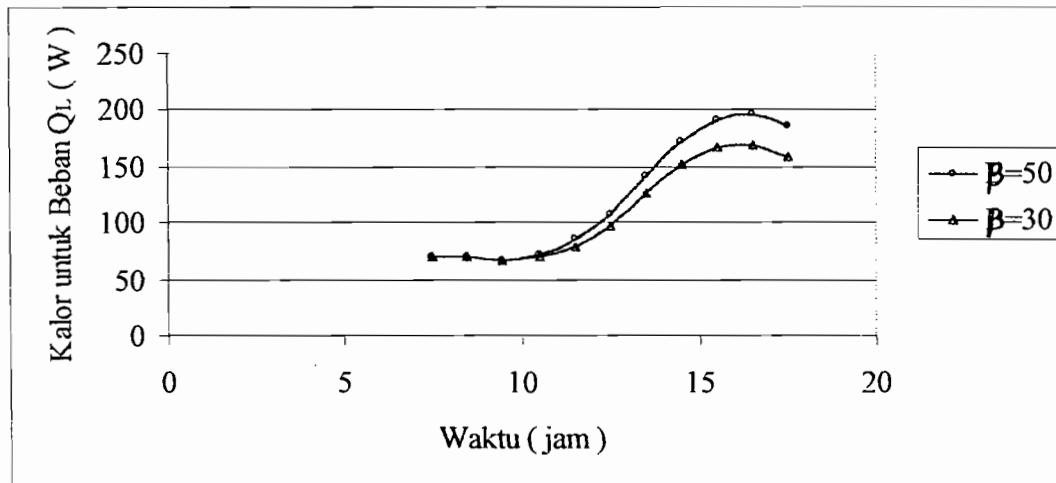
Grafik 45. Pengaruh  $m_S$  terhadap  $Q_L$



Grafik 46. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $Q_L$

## 2. $\beta$

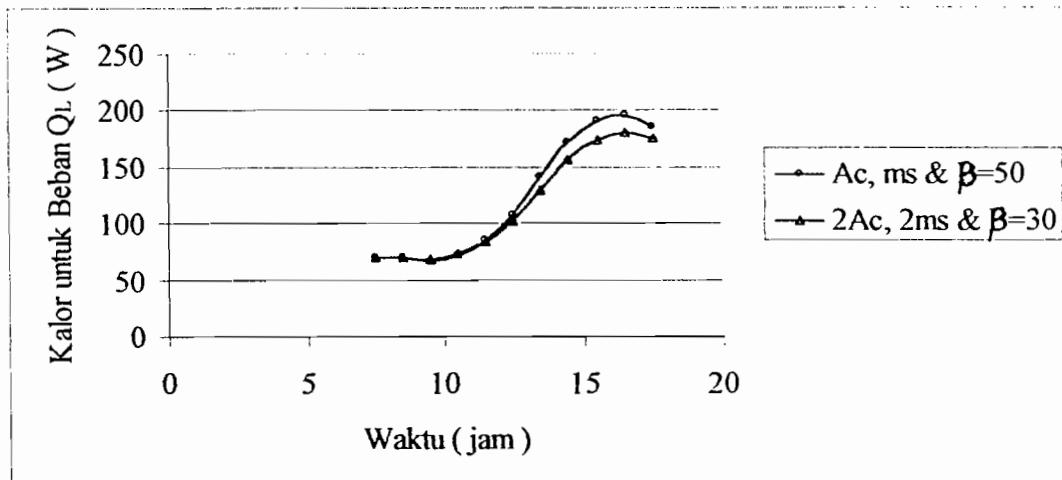
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $Q_L$ , hal ini karena jumlah energi matahari yang diserap kolektor berkurang.



Grafik 47. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $Q_L$

## 3. Ac, $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menurunkan harga  $Q_L$ .

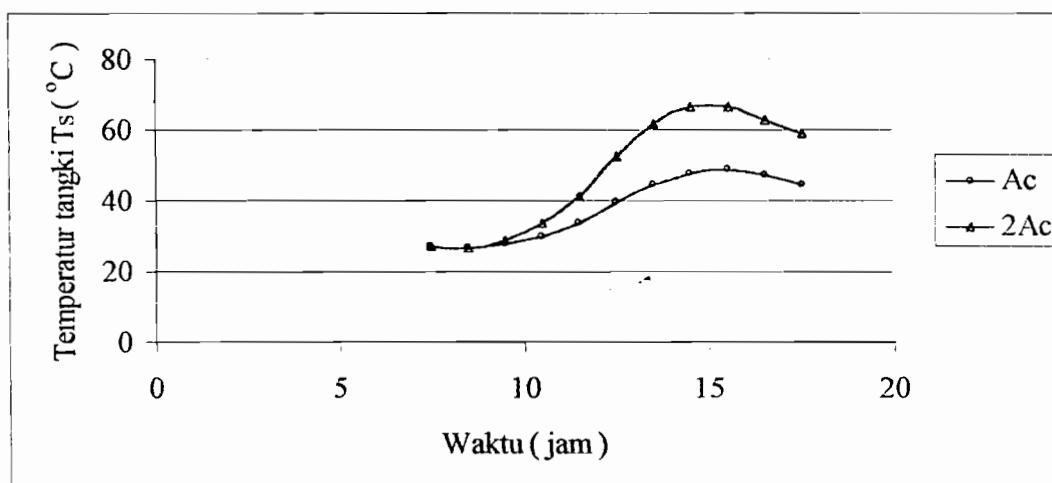
Grafik 48. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $Q_L$ 

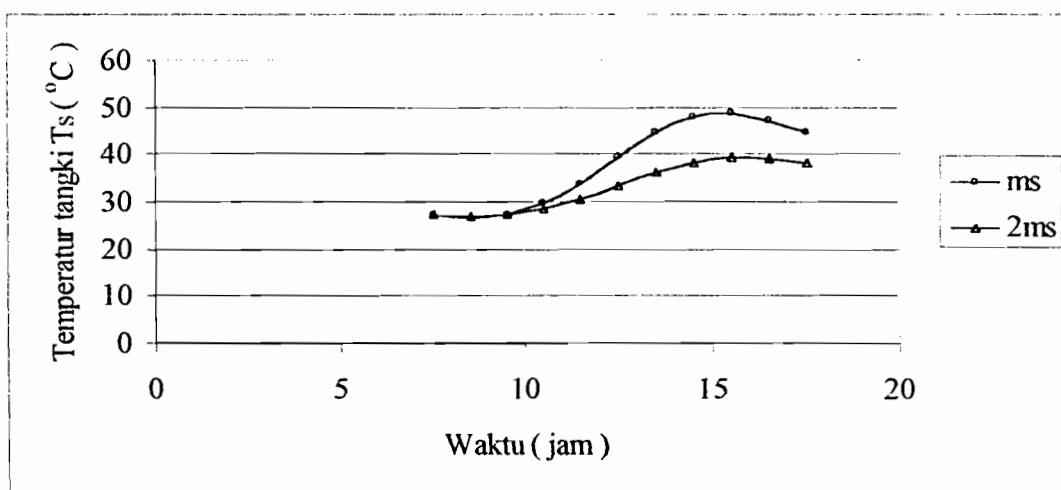
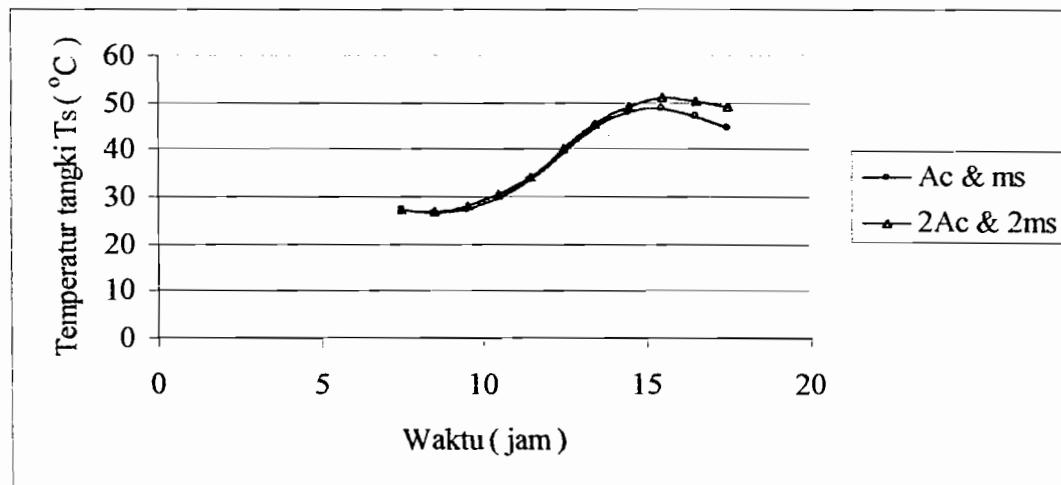
#### E. Temperatur Fluida dalam Tangki Penyimpan Panas $T_s$

Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

##### 1. $A_c$ dan $m_s$

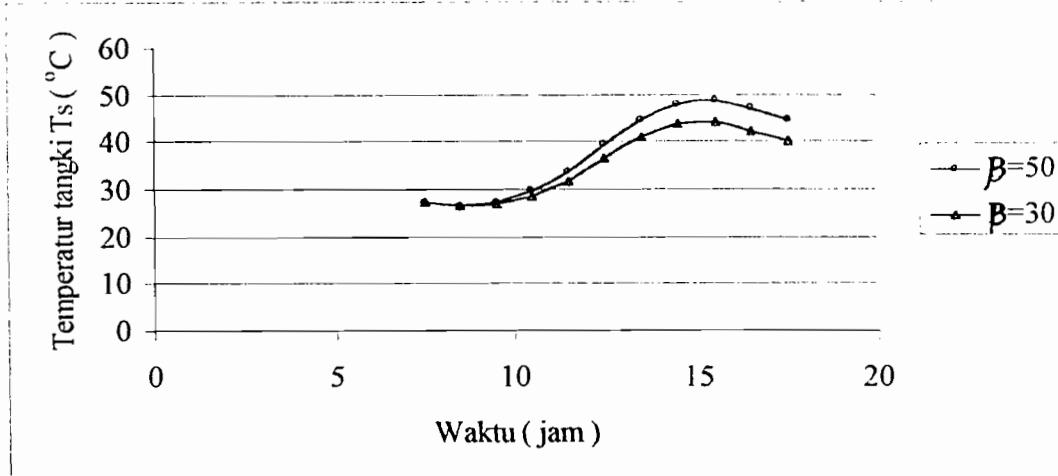
Perubahan variabel  $A_c$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $T_s$ , hal ini karena kalor yang diserap kolektor pun semakin besar. Perubahan variabel  $m_s$  (diperbesar 2 kali) akan menurunkan harga  $T_s$ , hal ini pertambahan  $m_s$  lebih besar daripada pertambahan  $A_c$ .

Grafik 49. Pengaruh  $A_c$  terhadap  $T_s$

Grafik 50. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $T_s$ Grafik 51. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $T_s$ 

## 2. $\beta$

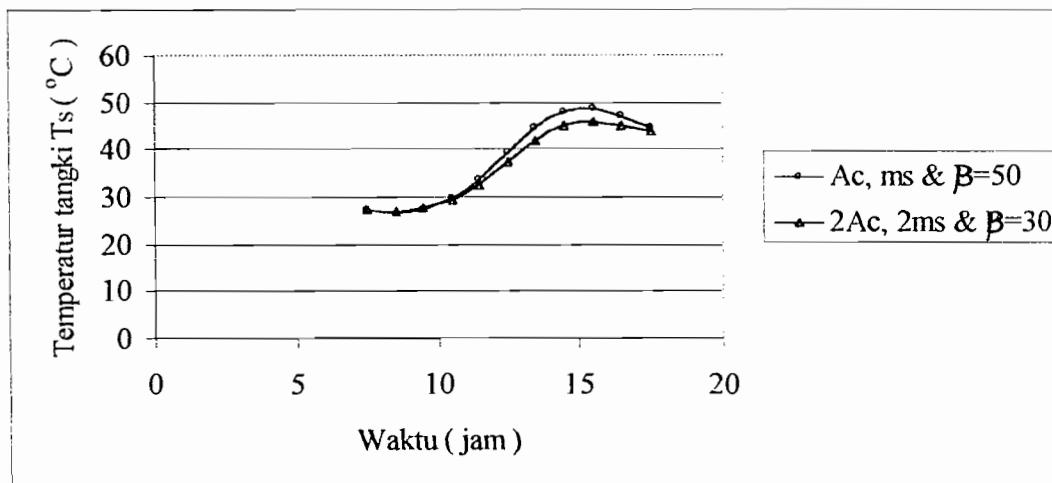
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $T_s$ , hal ini karena energi matahari yang diserap kolektor berkurang sehingga kalor yang diserap kolektor pun menjadi berkurang.



Grafik 52. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $T_s$

### 3. $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menurunkan harga  $T_s$ .



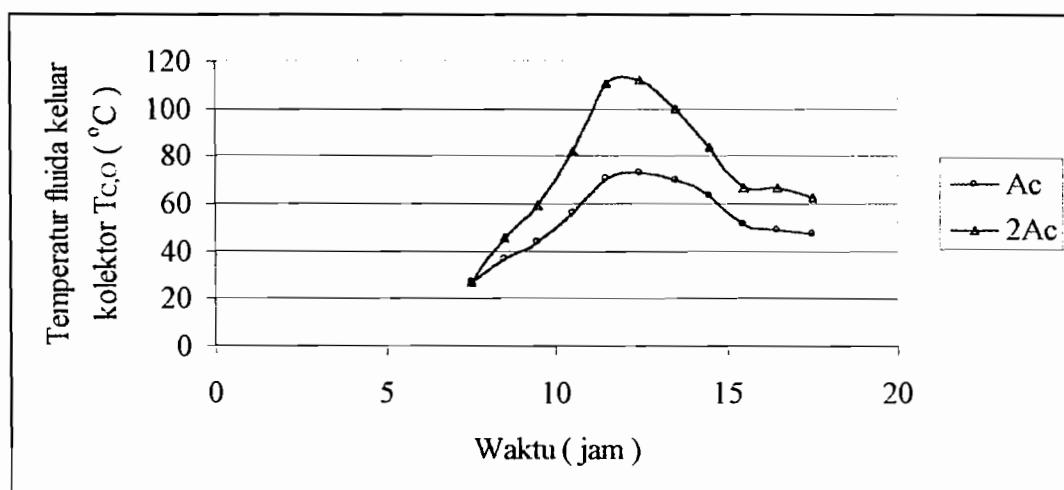
Grafik 53. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $T_s$

## F. Temperatur fluida keluar dari kolektor $T_{c,o}$

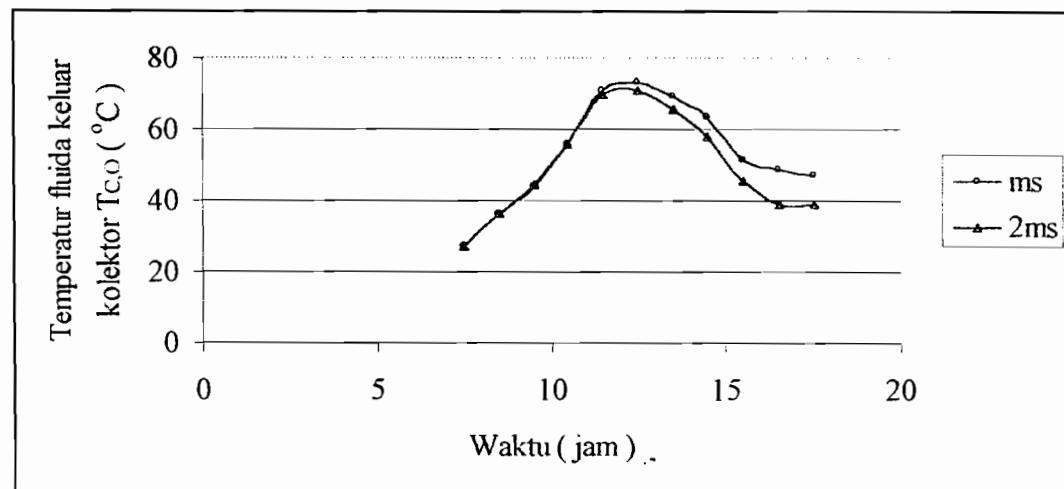
Pengaruh variabel-variabel yang dirubah :

### 1. $A_c$ dan $m_s$

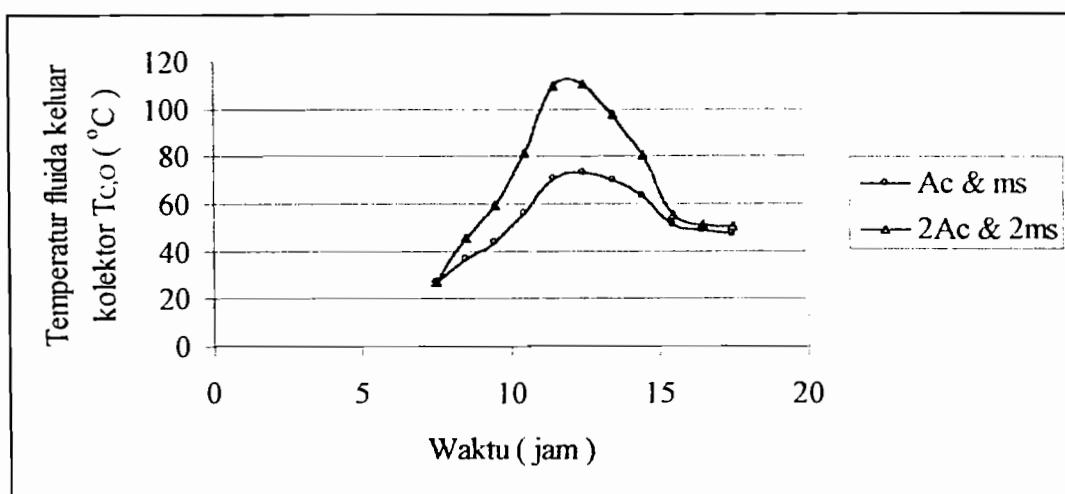
Perubahan variabel  $Ac$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $T_{C,O}$ , hal ini karena kalor yang diserap kolektor bertambah besar. Perubahan variabel  $m_s$  (diperbesar 2 kali) akan menurunkan harga  $T_{C,O}$ , hal ini karena  $T_s$  turun.



Grafik 54. Pengaruh  $Ac$  terhadap  $T_{C,O}$



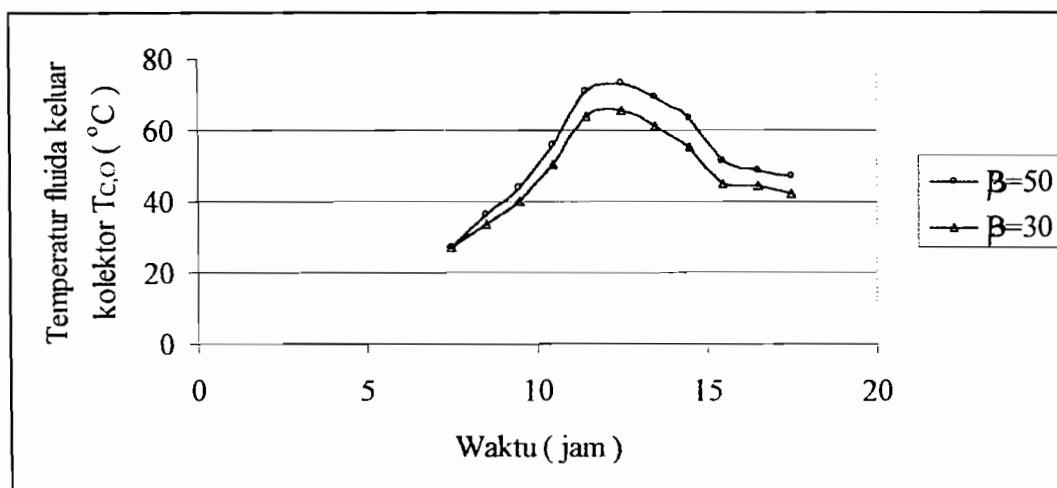
Grafik 55. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $T_{C,O}$



Grafik 56. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $T_{C,O}$

## 2. $\beta$

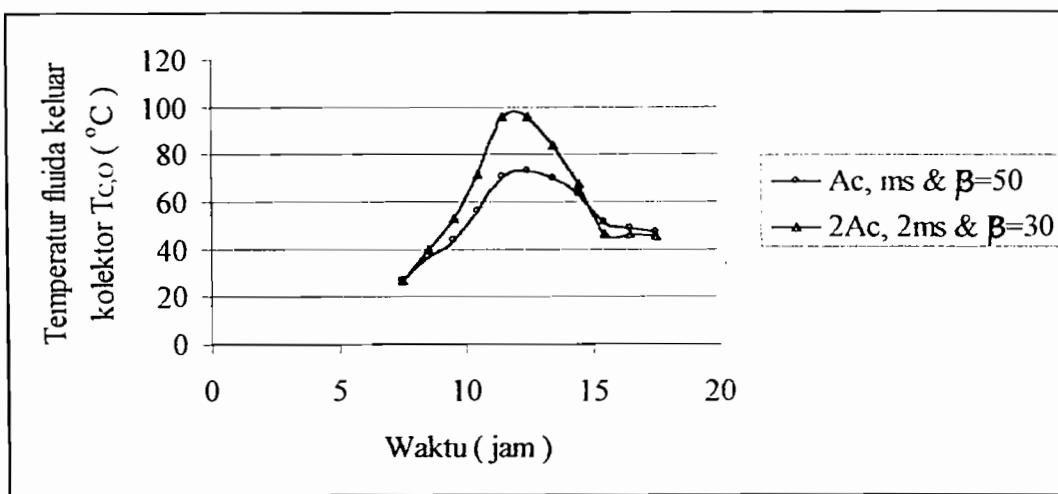
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $T_{C,O}$ , hal ini karena kalor yang diserap kolektor berkurang.



Grafik 57. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $T_{C,O}$

## 3. Ac, $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menaikkan harga  $T_{C,O}$ .



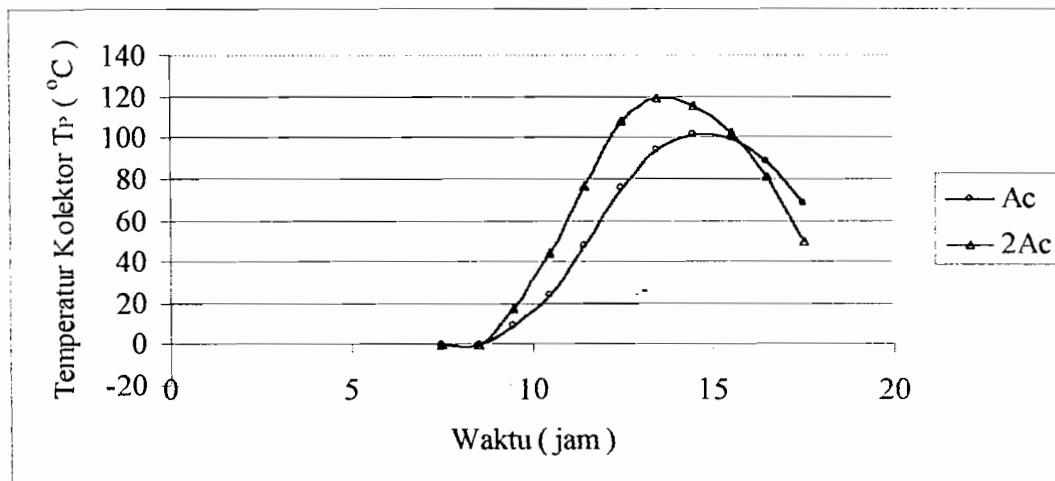
Grafik 58. Pengaruh  $\text{Ac}$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $T_{C,O}$

#### G. Temperatur Pelat Kolektor $T_P$

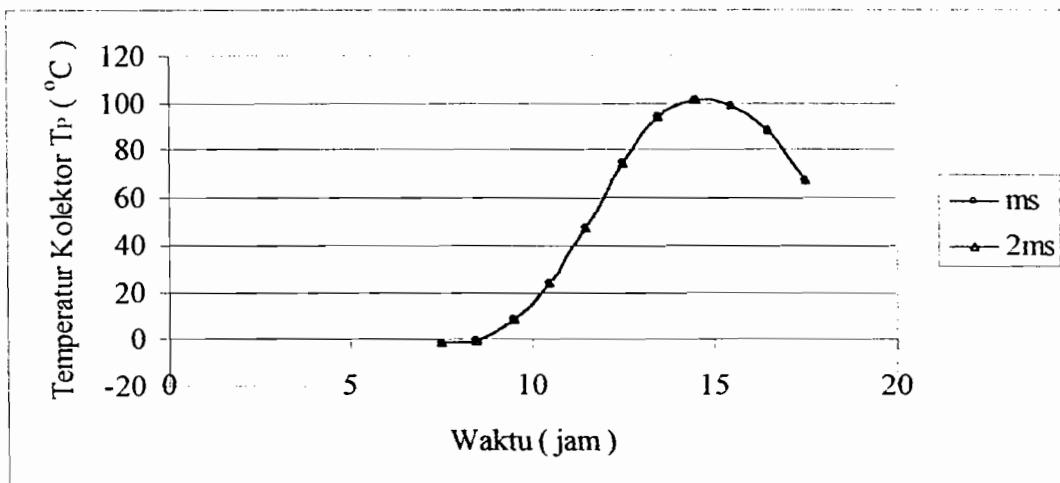
Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

##### 1. $\text{A}_C$ dan $m_s$

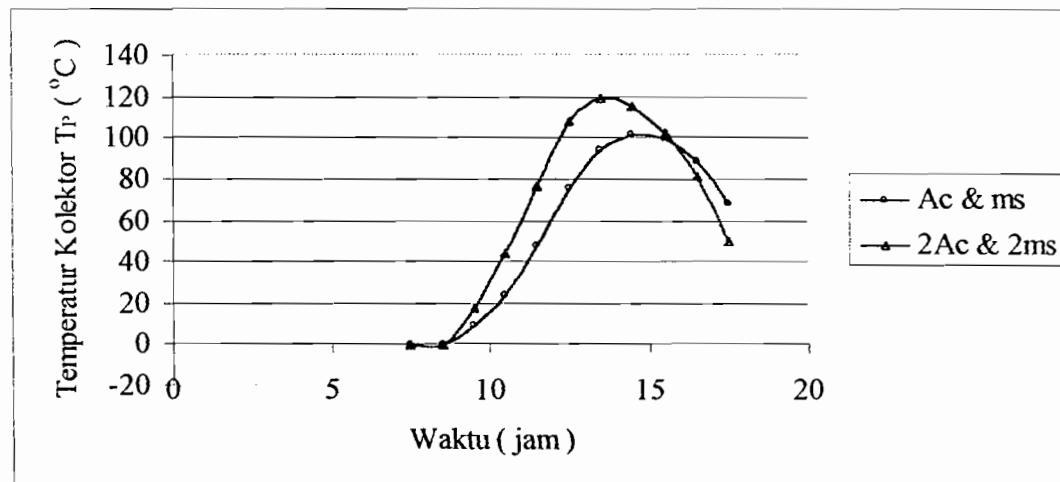
Perubahan  $\text{Ac}$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $T_P$ , hal ini karena energi matahari yang diserap kolektor bertambah besar. Perubahan  $m_s$  (diperbesar 2 kali) tidak mempengaruhi harga  $T_P$ .



Grafik 59. Pengaruh  $\text{Ac}$  terhadap  $T_P$



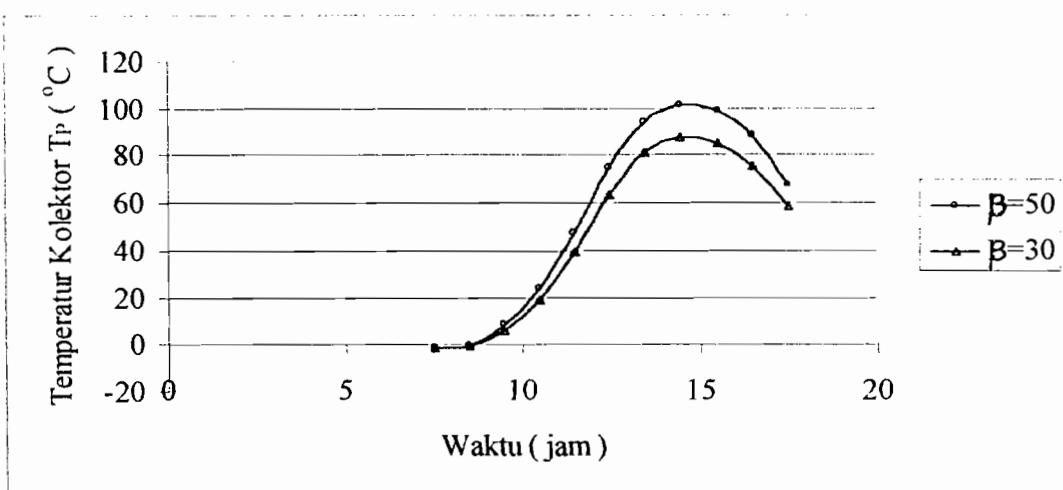
Grafik 60. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $T_p$



Grafik 61. Pengaruh  $\alpha_c$  dan  $m_s$  terhadap  $T_p$

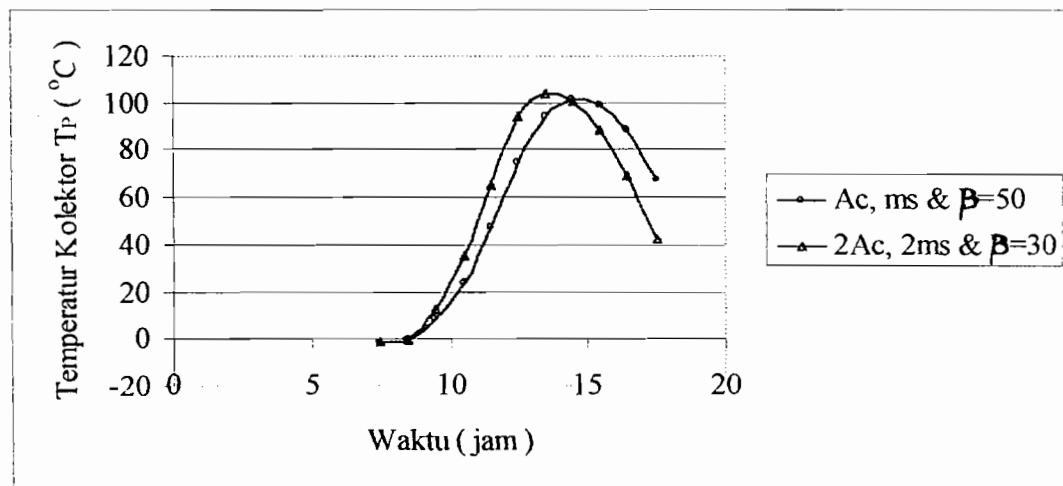
## 2. $\beta$

Perubahan variabel  $\beta$  dari  $50^{\circ}$  menjadi  $30^{\circ}$  akan menurunkan harga  $T_p$ , hal ini karena energi matahari yang diserap kolektor berkurang.

Grafik 62. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $T_p$ 

### 3. $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menaikkan harga  $T_p$ .

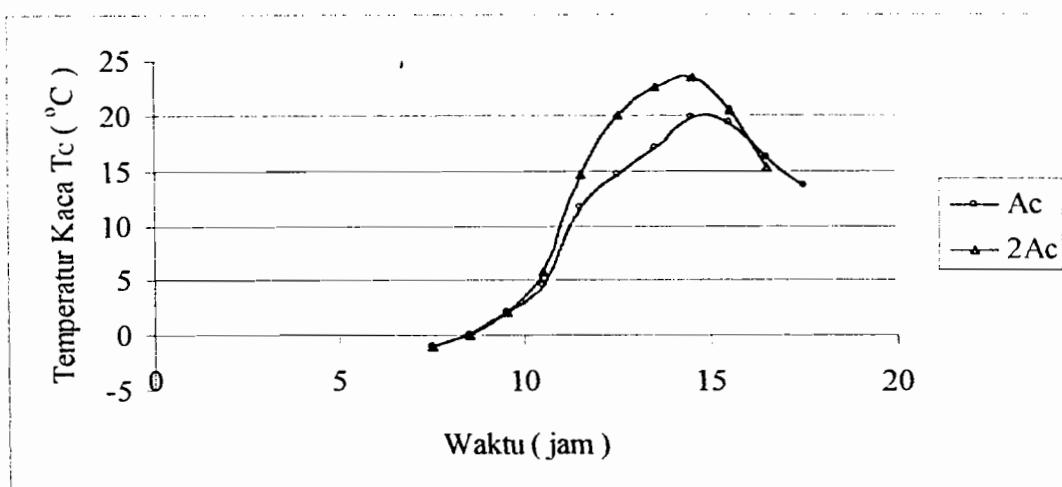
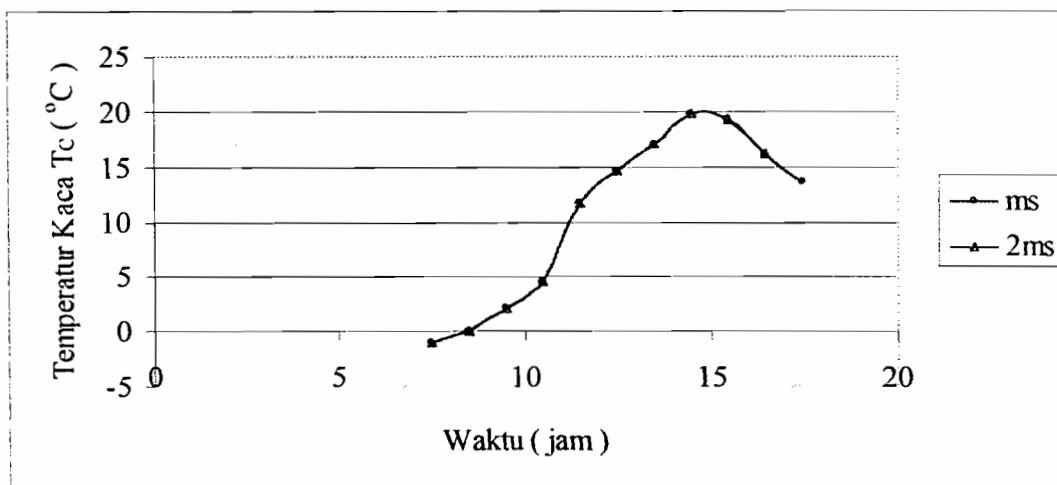
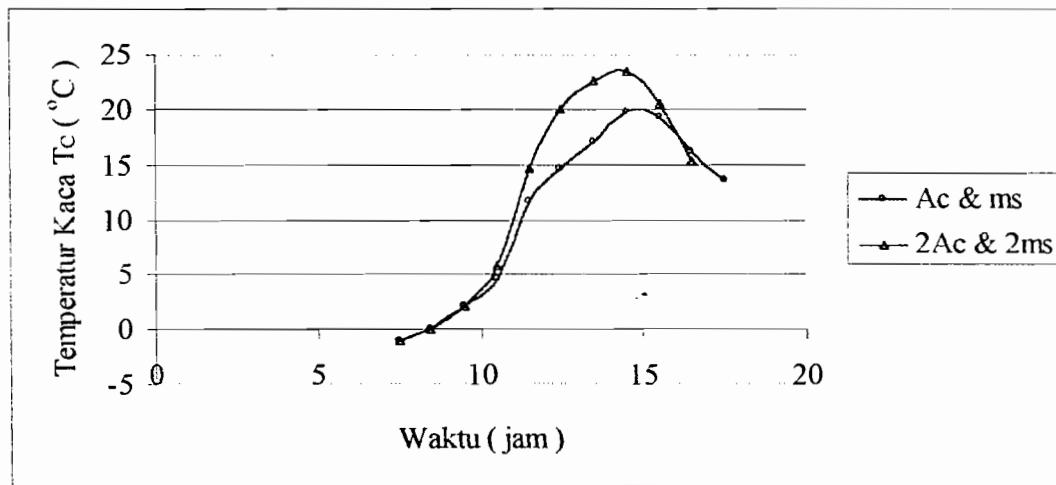
Grafik 63. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $T_p$ 

## H. Temperatur Kaca $T_c$

Pengaruh variabel-variabel yang dirubah:

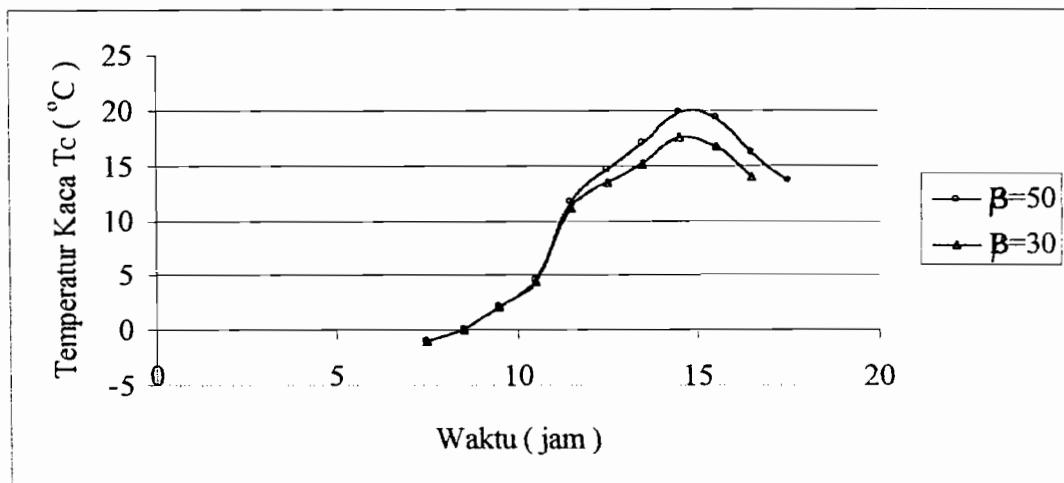
### 1. $A_c$ dan $m_s$

Perubahan  $A_c$  (diperbesar 2 kali) akan menaikkan harga  $T_c$ , hal ini karena  $T_p$  bertambah besar. Perubahan  $m_s$  (diperbesar 2 kali) tidak mempengaruhi harga  $T_c$ .

Grafik 64. Pengaruh Ac terhadap  $T_c$ Grafik 65. Pengaruh  $m_s$  terhadap  $T_c$ Grafik 66. Pengaruh Ac dan  $m_s$  terhadap  $T_c$

## 2. $\beta$

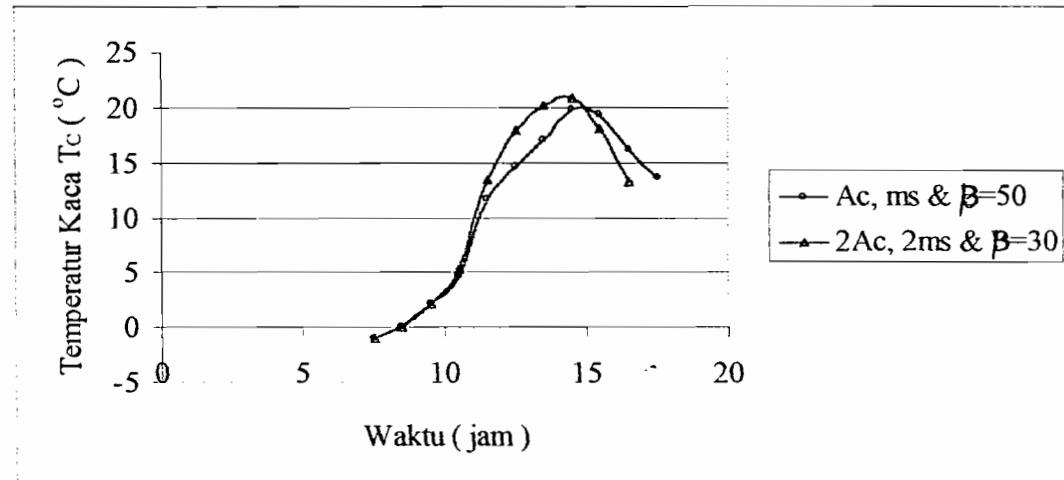
Perubahan  $\beta$  dari  $50^\circ$  menjadi  $30^\circ$  akan menurunkan harga  $T_C$ , hal ini karena energi matahari yang diserap kolektor berkurang sehingga  $T_P$  turun.



Grafik 67. Pengaruh  $\beta$  terhadap  $T_C$

## 3. $A_c$ , $m_s$ dan $\beta$

Perubahan ketiga variabel ini akan menaikkan harga  $T_C$ .



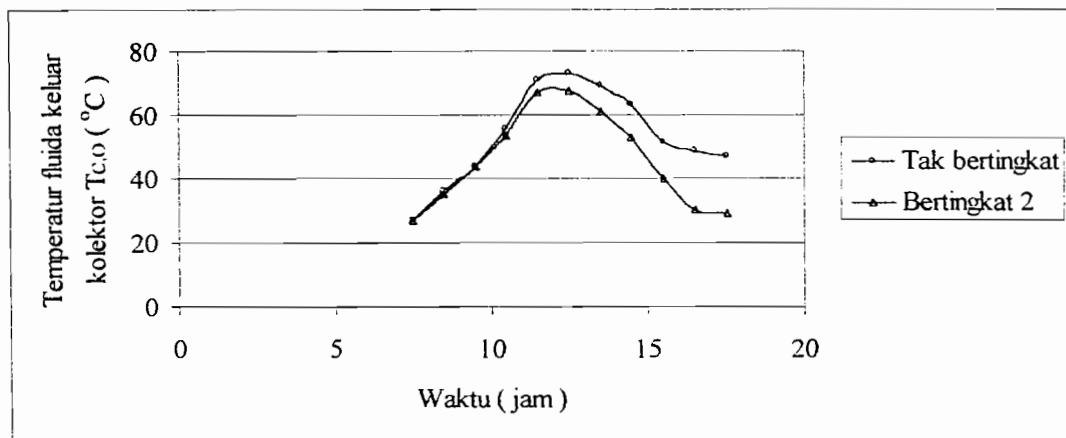
Grafik 68. Pengaruh  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap  $T_C$

untuk kondisi tangki penyimpan panas yang dibuat menjadi 2 bagian :

A. Kondisi Ac,  $m_s$  dan  $\beta=50^\circ$

1. Temperatur fluida keluar kolektor  $T_{C,O}$

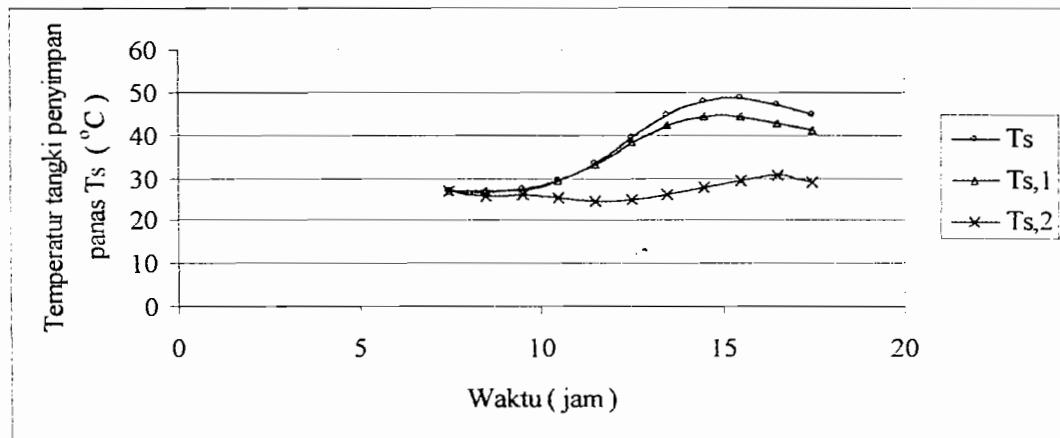
Temperatur fluida  $T_{C,O}$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian, hal ini karena  $T_s > T_{s,2}$ .



Grafik 69. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $T_{C,O}$

2. Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas  $T_s$

Temperatur fluida  $T_s$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian, hal ini karena  $Q_u > Q_{u,1} > Q_{u,2}$ .

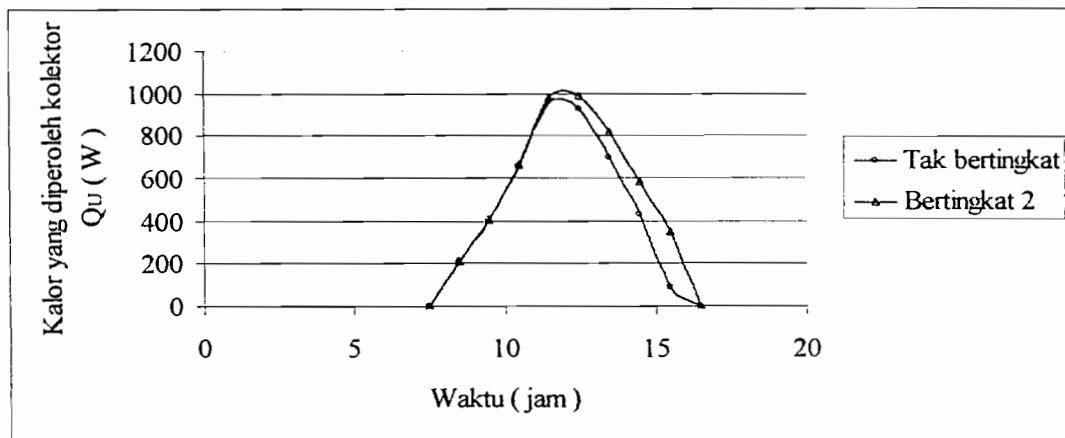


Grafik 70. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $T_s$



### 3. Kalor yang diperoleh kolektor $Q_U$

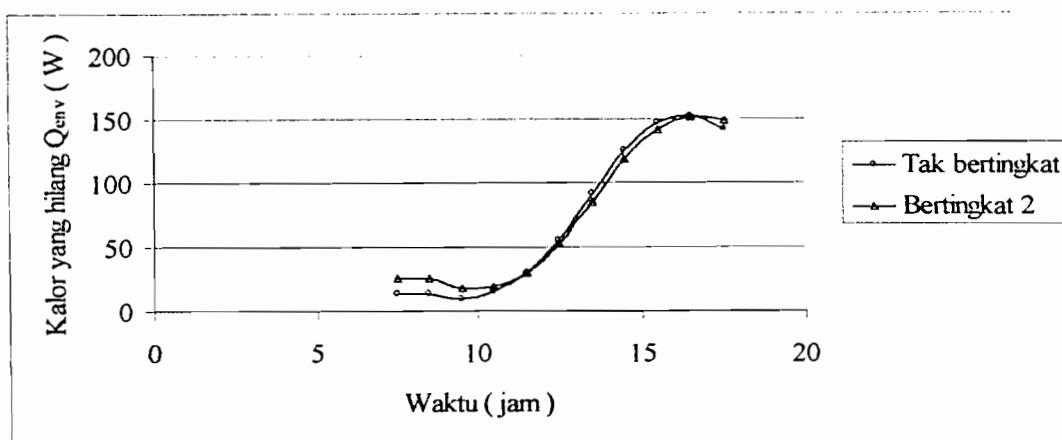
Kalor  $Q_U$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian, hal ini karena  $Q_U$  untuk tangki bertingkat merupakan penjumlahan dari  $Q_{U,1}$  dan  $Q_{U,2}$  dan hasil penjumlahan tersebut lebih besar dari  $Q_U$  pada tangki tak bertingkat.



Grafik 71. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_U$

### 4. Kalor yang hilang $Q_{env}$

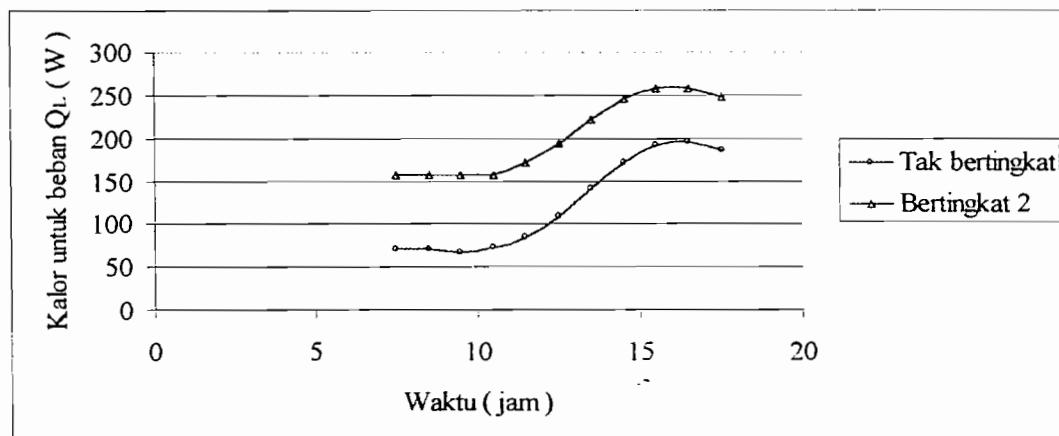
Kalor  $Q_{env}$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian, hal ini karena  $Q_{env}$  untuk tangki bertingkat merupakan penjumlahan dari  $Q_{env,1}$  dan  $Q_{env,2}$  dan hasil penjumlahan tersebut lebih kecil dari  $Q_{env}$  pada tangki tak bertingkat.



Grafik 72. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_{\text{env}}$

##### 5. Kalor yang untuk beban $Q_L$

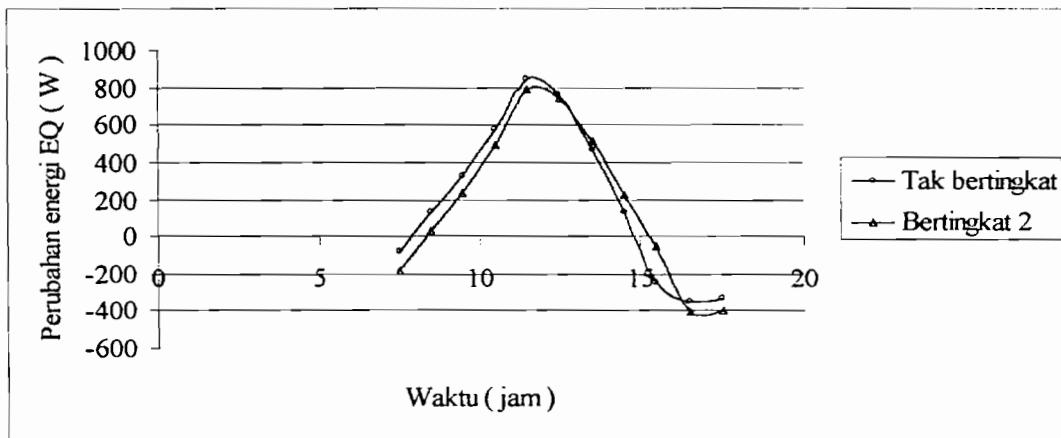
Kalor  $Q_L$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian, hal ini karena  $Q_L$  untuk tangki bertingkat merupakan penjumlahan dari  $Q_{L,1}$  dan  $Q_{L,2}$  dan hasil penjumlahan tersebut lebih besar dari  $Q_L$  pada tangki tak beringkat.



Grafik 73. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_L$

## 6. Perubahan energi $\Sigma Q$

Perubahan energi  $\Sigma Q$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.

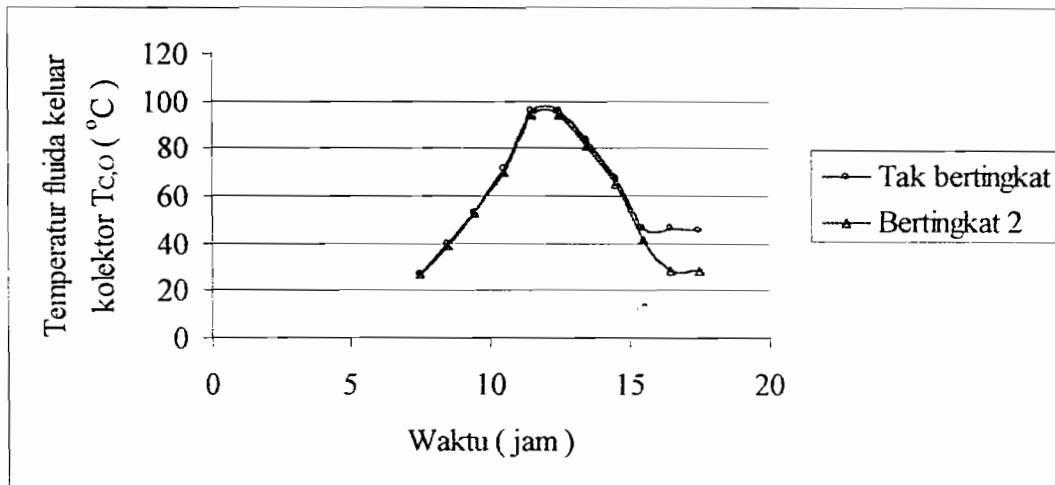


Grafik 74. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $\Sigma Q$

## B. Kondisi $2A_c, 2m_s$ dan $\beta=30^\circ$

### 1. Temperatur fluida keluar kolektor $T_{C,O}$

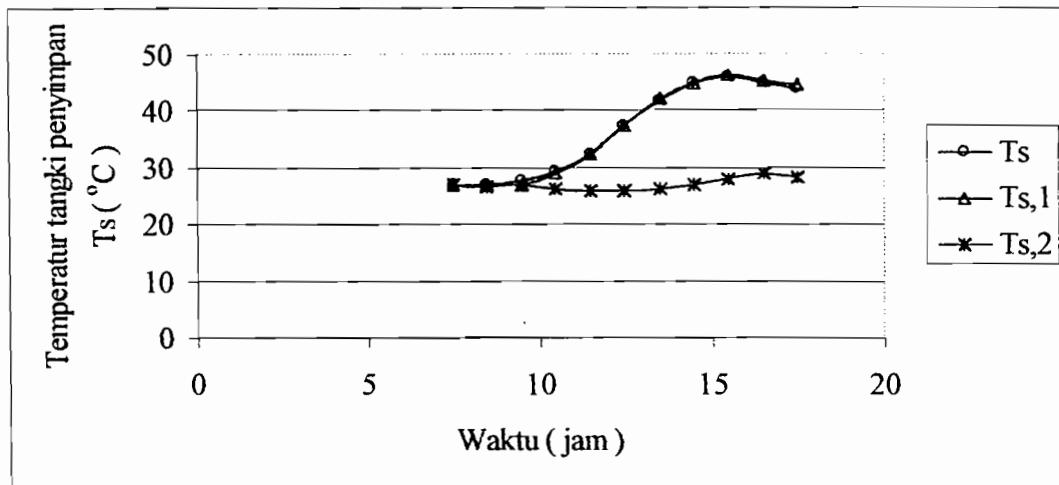
Temperatur fluida  $T_{C,O}$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 75. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $T_{C,O}$

2. Temperatur fluida pada tangki penyimpan panas  $T_s$

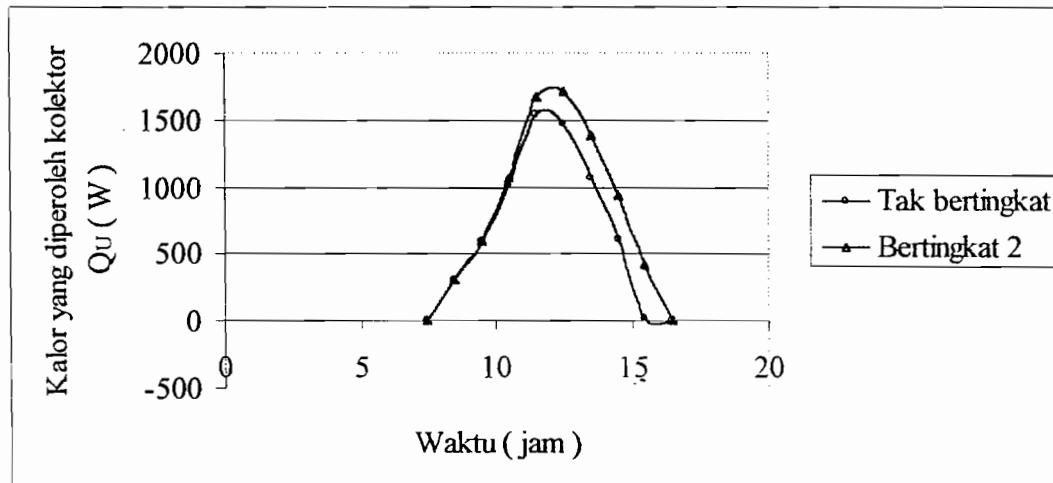
Temperatur fluida  $T_s$  menjadi turun saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 76. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $T_s$

3. Kalor yang diperoleh kolektor  $Q_u$

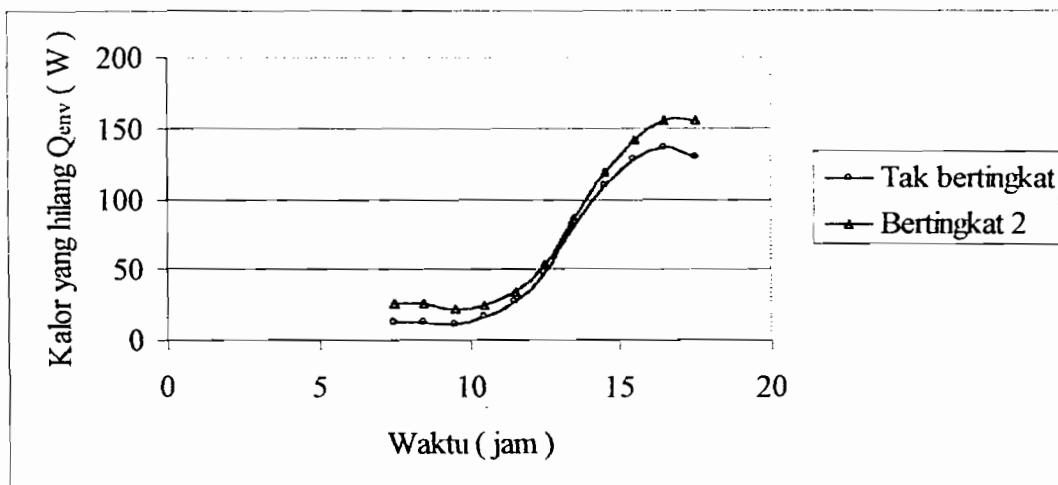
Kalor  $Q_u$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 77. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_u$

#### 4. Kalor yang hilang $Q_{env}$

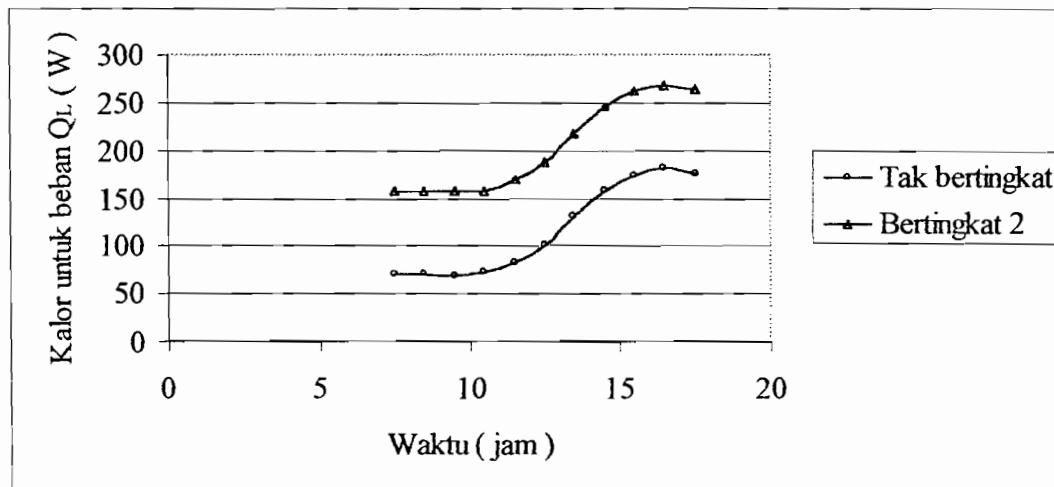
Kalor  $Q_{env}$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 78. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_{env}$

#### 5. Kalor yang untuk beban $Q_L$

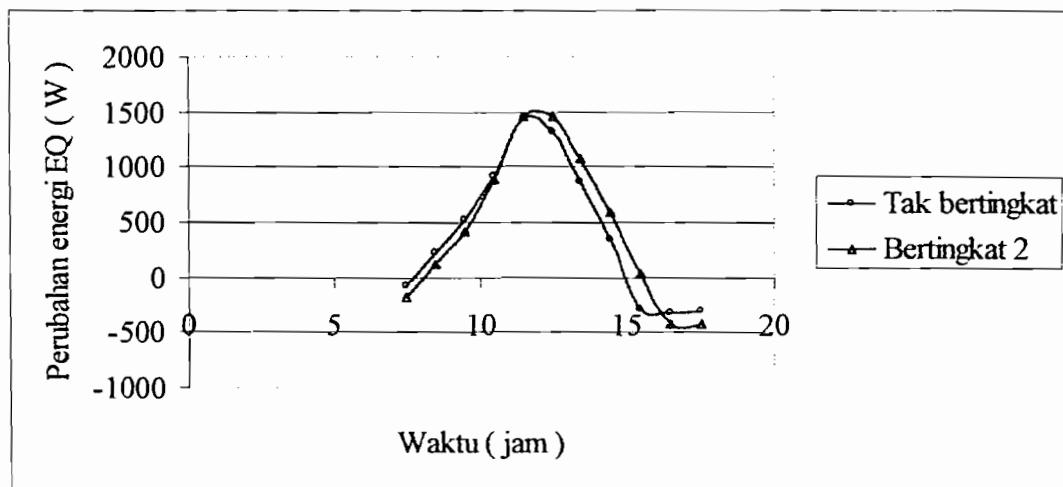
Kalor  $Q_L$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 79. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $Q_L$

## 6. Perubahan energi $\Sigma Q$

Perubahan energi  $\Sigma Q$  menjadi besar saat tangki penyimpan dibuat menjadi 2 bagian.



Grafik 80. Pengaruh tingkatan tangki penyimpan panas terhadap  $\Sigma Q$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN PENUTUP**

#### **A. KESIMPULAN**

1. Besarnya temperatur air panas yang keluar dari kolektor ( $T_{c,o}$ ) yang kemudian akan disimpan dalam tangki penyimpan panas ( $T_s$ ) dipengaruhi/tergantung dari :
  - a. Keadaan cuaca mempengaruhi penerusan sinar/energi matahari yang datang ke permukaan bumi (yang diserap pelat kolektor). Semakin cerah cuacanya maka semakin banyak energi matahari yang dapat diserap oleh pelat kolektor, sehingga  $T_s$  yang dihasilkan pun akan menjadi semakin besar.
  - b. Kemiringan sudut pelat kolektor ( $\beta$ )

Berdasarkan contoh kasus di atas, semakin besar sudut kemiringan dari pelat kolektor maka semakin besar energi matahari yang dapat diserap oleh pelat kolektor, sehingga  $T_s$  yang dihasilkan pun akan menjadi semakin besar (lihat grafik 52).

Pengaruh  $\beta$  ini tidak berlaku umum untuk semua daerah, hal ini karena besarnya energi matahari yang diserap oleh pelat kolektor juga tergantung pada sudut deklinasi  $\sin \delta$  (yang tergantung pada hari yang bersangkutan), posisi (garis lintang) dari daerah yang bersangkutan ( $\phi$ ) dan sudut jam ( $\omega$ ). Sehingga ada kemungkinan di suatu daerah,

semakin besar sudut  $\beta$ , energi matahari yang diserap pelat kolektor semakin berkurang sehingga  $T_s$  yang dihasilkan semakin kecil pula.

c. Luas penampang pelat kolektor ( $A_c$ )

semakin luas penampang pelat kolektor maka semakin besar panas ( $Q_U$ ) yang dapat diserap oleh pelat kolektor, sehingga  $T_s$  yang dihasilkan pun menjadi semakin besar (lihat grafik 49).

d. Massa air dalam tangki ( $m_s$ )

semakin besar massa air dalam tangki, luas penampang tangki ( $A_c$ ) pun menjadi semakin besar, tetapi pengaruh pertambahan  $m_s$  lebih besar dari  $A_c$  sehingga  $T_s$  pun menjadi lebih kecil (lihat grafik 50).

2.  $T_s$  tidaklah seragam untuk tangki penyimpan yang cukup besar, sehingga tangki perlu dibuat menjadi 2 bagian. Hal ini akan mengakibatkan :
  - a.  $T_s$  untuk tangki yang bertingkat menjadi lebih kecil (lihat grafik 70).
  - b.  $Q_U$  untuk tangki yang bertingkat menjadi lebih besar (lihat grafik 71).
  - c.  $Q_{env}$  untuk tangki yang bertingkat menjadi lebih besar (lihat grafik 72).
  - d.  $Q_L$  untuk tangki yang bertingkat menjadi lebih besar (lihat grafik 73).
3. Pengaruh variabel  $A_c$ ,  $m_s$  dan  $\beta$  terhadap kalor ( $Q$ ) :
  - a. Perbesaran  $A_c$  akan mengakibatkan  $Q_U$ ,  $Q_{env}$  dan  $Q_L$  menjadi lebih besar (lihat grafik 34, 39 dan 44).
  - b. Perbesaran  $m_s$  akan mengakibatkan  $Q_U$  menjadi lebih besar (lihat grafik 35),  $Q_{env}$  dan  $Q_L$  menjadi lebih kecil (lihat grafik 40 dan 45).
  - c. Perbesaran  $\beta$  akan mengakibatkan  $Q_U$ ,  $Q_{env}$  dan  $Q_L$  menjadi lebih besar (lihat grafik 37, 42 dan 47).

sehingga untuk mendapatkan  $T_s$  yang lebih besar secara maksimal, cukup dengan melakukan perbesaran  $A_c$  (lihat grafik 49).  $T_s$  kurang maksimal bila perbesaran dilakukan terhadap  $m_s$  (lihat grafik 50) atau  $A_c$  dan  $m_s$  secara bersamaan (lihat grafik 51), hal ini bisa kita bandingkan dengan harga  $T_s$  yang perbesarannya hanya dilakukan terhadap  $A_c$ .

## B. PENUTUP

Pemanas air tenaga surya ini akan semakin banyak digunakan untuk menggantikan pemanas air listrik, meskipun penggunaan pemanas air surya dipengaruhi cuaca (energi matahari). Hal ini dikarenakan energi matahari dapat diperoleh secara cuma-cuma, sedangkan biaya penggunaan energi listrik diperkirakan akan terus naik. Untuk mengatasi masalah cuaca, pemanas air tenaga surya dilengkapi dengan pemanas air tenaga listrik yang hanya akan bekerja bila cuaca kurang baik (energi matahari yang dibutuhkan kurang mencukupi untuk memanaskan air sampai temperatur yang diinginkan).

Penulis menyadari kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga hasilnya pun masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan masukan yang akan sangat berguna bagi penulis.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Arismunandar, W. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
2. Duffie, J.A., dan Beckman, W.A. 1974. *Solar Energy Thermal Processes*. United States of America : John Wiley dan Sons, Inc.
3. Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor*. Jakarta : Penerbit Erlangga.

# **LAMPIRAN**

## Lampiran 1

Tabel 1. Data Radiasi untuk 15 Januari di Madison  
 (J.A. Duffie, Solar Energy Thermal Processes, hal. 150)

Time, Hr.	$H$ , W/m <sup>2</sup>	$T$ , °C
7-8	14	-1
8-9	76	0
9-10	174	2
10-11	306	4
11-12	449	10
12-13	461	10
13-14	389	9
14-15	275	8
15-16	127	6
16-17	21	4

Day	Hour	$H$	°C	V	Day	Hour	$H$	°C	V
9	1	0.	-2.8	7.2	9	13	1185.	-2.2	2.2
9	2	0.	-3.3	7.2	9	14	1009.	0.0	0.0
9	3	0.	-3.3	6.3	9	15	796.	-.6	1.3
9	4	0.	-3.3	5.8	9	16	389.	-.6	1.3
9	5	0.	-3.9	4.0	9	17	134.	-2.2	4.0
9	6	0.	-3.9	4.5	9	18	0.	-2.8	4.0
9	7	0.	-3.9	1.8	9	19	0.	-3.3	4.5
9	8	4.	-3.9	2.2	9	20	0.	-5.6	5.8
9	9	71.	-3.9	2.2	9	21	0.	-6.7	5.4
9	10	155.	-3.3	4.0	9	22	0.	-7.8	5.8
9	11	343.	-2.8	4.0	9	23	0.	-8.3	4.5
9	12	402.	-2.2	4.0	9	24	0.	-8.3	6.3
10	1	0.	-9.4	5.8	10	13	1872.	2.2	7.6
10	2	0.	-10.0	6.3	10	14	1733.	4.4	6.7
10	3	0.	-8.9	5.8	10	15	1352.	6.1	6.3
10	4	0.	-10.6	6.3	10	16	775.	6.7	4.0
10	5	0.	-8.3	4.9	10	17	205.	6.1	2.2
10	6	0.	-8.3	7.2	10	18	4.	3.3	4.5
10	7	0.	-10.0	5.8	10	19	0.	.6	4.0
10	8	33.	-8.9	5.8	10	20	0.	.6	3.1
10	9	419.	-7.2	6.7	10	21	0.	0.0	2.7
10	10	1047.	-5.0	9.4	10	22	0.	.6	2.2
10	11	1570.	-2.2	8.5	10	23	0.	1.7	3.6
10	12	1805.	-1.1	8.0	10	24	0.	.6	2.7

## Lampiran 2

Tabel 2. Konduktivitas Termal beberapa bahan Kolektor Surya tertentu  
(W. Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 45)

Bahan	Konduktivitas termal (k), W/(m.K)
Tembaga	385.0
Aluminium	211.0
Timah Putih	66.0
Baja, 1% karbon	45.0
Baja tahan karat	16.0
Kaca	1.05
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	0.27
Polikarbonat	0.2
Karet alam 30 durometer	0.14
Karet alam 70 durometer	0.17
Isolasi papan kaca serat	0.043

Lampiran 3

Tabel 3. Sifat-sifat bahan logam  
(J.P. Holaman, Perpindahan Kalor, hal. 581)

## Lampiran 4

Tabel 4. Sifat-sifat bahan bukan logam  
(J.P. Holaman, Perpindahan Kalor, hal. 584)

Bahan	Suhu °C	k, W/m · °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	c, kJ/kg · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s $\times 10^7$
<i>Bahan-bahan bangunan dan penahan-kalor</i>					
Aspal	20–55	0.74–0.76			
Bata:					
Bata bangunan biasa	20	0.69	1600	0.84	5.2
Muka		1.32	2000		
Bata karborundum	600	18.5			
	1400	11.1			
Bata krom	200	2.32	3000	0.84	9.2
	550	2.47			9.8
	900	1.99			7.9
Semen, portland moster		0.29	1500		
	23	1.16			
Beton, sinder	23	0.76			
Batu, 1-2-4 campur	20	1.37	1900–2300	0.88	8.2–6.8
Gelas, jendela	20	0.78 (avg)	2700	0.84	3.4
Korosilikat	30–75	1.09	2200		
Plaster, gips	20	0.48	1440	0.84	4.0
lat logam	20	0.47			
lat kayu	20	0.28			
Asbes:					
Ditetel longgar	-45	0.149			
	0	0.154	470–570	0.816	3.3–4
	100	0.161			
Papan asbes semen	20	0.74			
Scrat, papan isolasi	20	0.048	240		
Wol gelas, 1.5 lb/ft <sup>3</sup>	23	0.038	24	0.7	22.6
Insulex, kering	32	0.064			
		0.144			

## Lampiran 5

Tabel 5. Emisivitas Total Normal berbagai permukaan  
(J.P. Holaman, Perpindahan Kalor, hal. 594)

<i>Permukaan</i>	<i>T, °F</i>	<i>Emisivitas ε</i>
<i>Logam dan oksida logam</i>		
<b>Aluminium:</b>		
Plat diupam mengkilap 98.3% murni	440–1070	0.039–0.057
Lembaran komersial	212	0.09
Sangat teroksidasi	299–940	0.20–0.31
Atap berpermukaan Al	100	0.216
<b>Kuningan:</b>		
Diupam (poles) mengkilap		
73.2% Cu, 26.7% Zn	476–674	0.028–0.031
62.4% Cu, 36.8% Zn, 0.4% Pb, 0.3% Al	494–710	0.033–0.037
82.9% Cu, 17.0% Zn	530	0.030
Diroll keras, diupam, tetapi arah upam kelihatan	70	0.038
Plat pudar	120–660	0.22
Krom (lihat paduan nikel untuk baja Ni-Cr, diupam)	100–2000	0.08–0.36
<b>Tembaga:</b>		
Diupam (poles)	242	0.023
Alumina (85–99.5%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0–12% $\text{SiO}_2$ , 0–1% $\text{Ge}_2\text{O}_3$ ); pengaruh ukuran butir rata-rata, mikron ( $\mu\text{m}$ ):		
10 $\mu\text{m}$		0.30–0.18
50 $\mu\text{m}$		0.39–0.28
100 $\mu\text{m}$		0.50–0.40
Asbes, papan	74	0.96
<b>Bata:</b>		
Merah, kasar, tidak ada ketidak-teraturan	70	0.93
Tanah liat api	1832	0.75
<b>Karbon:</b>		
Karbon-T (Gebrüder Siemens) 0,9% abu dimulai dengan emisivitas 0,72 pada 260°F tetapi karena dipanaskan berubah menjadi nilai berikut	260–1160	0.81–0.79
Filamen	1900–2560	0.526
Plat kasar	212–608	0.77
Jelaga, endapan kasar	212–932	0.84–0.78
Ubin beton	1832	0.63
Email, lebur putih, di atas besi	66	0.90
<b>Gelas:</b>		
Halus	72	0.94
Pyrex, timbal dan soda	500–1000	0.95–0.85
<b>Cat, lak, pernis:</b>		
Pernis email putih salju di atas plat besi kasar	73	0.906
Lak hitam mengkilap disemprotkan di atas besi	76	0.875
Lakeri ( <i>shellac</i> ) hitam mengkilap di atas lembaran besi bertimah	70	0.821
Lakeri hitam pudar	170–295	0.91
Lak hitam atau putih	100–200	0.80–0.95
Lak hitam rata	100–200	0.96–0.98
Cat aluminium dan lak:		

## Lampiran 6

Tabel 6. Faktor konstan  $\alpha_i$   
( JA. Duffie, *Solar Energy Thermal Processes*, hal. 156)

Covers	$\alpha_i$	$\epsilon_p = 0.95$	$\epsilon_p = 0.50$	$\epsilon_p = 0.10$
1	$\alpha_1$	0.27	0.21	0.13
2	$\alpha_1$	0.15	0.12	0.09
	$\alpha_2$	0.62	0.53	0.40
3	$\alpha_1$	0.14	0.08	0.06
	$\alpha_2$	0.45	0.40	0.31
	$\alpha_3$	0.75	0.67	0.53