

THERMOSIPHON SOLAR WATER HEATER SYSTEM WITH REFLECTOR

TUGAS AKHIR

No Seal : 427 / FT.USD / TM / MEI / 2004

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin



Disusun oleh :

AN. SIGIT WAHYU NUGROHO

NIM : 995214097

NIRM : 990051123109120097



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2004**



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR/SKRIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 427 FT.USD.TM/Mei/2004

NAMA : An. Sigit Wahyu Nugroho
NIM : 995214097
NIRM : 990051123109120097
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
Judul TGA :
Thermosiphon Solar Water Heater System With Reflector

Tanggal dimulai : 9 Mei 2004

Yogyakarta , 12 Mei 2004
Pembimbing I

Ir. FA. Rusdi Sambada, S.T.



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SANATA DHARMA
 Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman -Yogyakarta
 Telp.(0274) 883037, 883968, 886530; Fax.(0274) 886529; Email : teknik@staff.usd.ac.id

TUGAS AKHIR / SKIPSI PROGRAM S-1
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA

No: 427 / FT .USD / IM / Mei 2004

NAMA : An. Sigit Wahyu Nugroho
 NIM : 995214097
 NIRM : 990051123109120097
 Program Studi : Teknik Mesin
 Fakultas : Teknik , Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
 Judul TGA :
 Thermosiphon Solar Water Heater System With Reflektor

Tanggal dimulai : 9 Mei 2004

Pembimbing I : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.
 Pembimbing II :

| No | Tgl | Uraian | Keterangan | Uraian Tugas |
|----|--------------|------------------------|--|--------------|
| 1 | 17 April '04 | Data selama pengamatan | | Rusdi |
| 2 | 20 April '04 | BAB I PENDAHULUAN | Uraian materi TA | Rusdi |
| 3 | 29 April '04 | BAB II DASAR TEORI | Komponen = Thermosiphon dan rumus dasar. | Rusdi |
| 4 | 28 April '04 | BAB III ANALISA DATA | Perthitungan dari rumus data selama pengamatan | Rusdi |
| 5 | 6 Mei '04 | BAB IV PEMBAHASAN | grafik data pengamatan serta pembahasan | Rusdi |
| 6 | 9 Mei '04 | BAB V PENUTUP | operasional alat dan kesimpulan pengamatan | Rusdi |
| 7 | 13 Mei '04 | Revisi pra-sedding | Persiapan untuk sedding. | Rusdi |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**THERMOSIPHON SOLAR WATER HEATER SYSTEM
WITH REFLECTOR**

oleh :



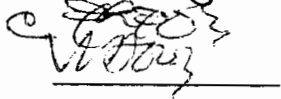

AN SIGIT WAHYU NUGROHO

NIM : 995214097

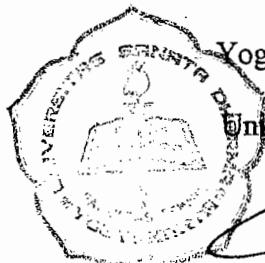
NIRM : 990051123109120097

Telah dipertahankan di depan panitia penguji
pada tanggal 28 Juni 2004
dan dinyatakan memenuhi syarat.


Susunan Panitia Penguji

| Nama Lengkap | Tanda Tangan |
|---|---|
| Ketua : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T |  |
| Sekretaris : Yosef Agung Cahyanta, S.T, M.T |  |
| Anggota : Ir. PK. Purwadi, M.T |  |
| Anggota : Budi Sugiharto, S.T, M.T |  |

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Yogyakarta,
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Dekan

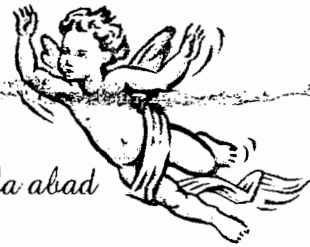

Ir. Greg. Heliarko, S.J., SS., B.ST., MA., M.Ss.

HALAMAN PERSEMBAHAN

tugas Akhir ini kupersembahkan sebagai tanda syukur dan kasihku untuk:

- ⊕ Bapak dan ibu tercinta yang telah memberikan segalanya untuk keberhasilan studyku.
- ⊕ Mbak Erna, Mbak Rini, serta seluruh keluarga di Fogya yang telah banyak membantu.
- ⊕ Teman - temanku semua.

*Kemuliaan kepada Bapa, Putra, dan Roh Kudus
Seperti pada permulaan, sekarang selalu, dan sepanjang segala abad
Terpujilan Nama Yesus, Maria, dan Yosef
Sekarang dan selama - lamanya*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini dengan baik.

Tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang program Strata 1 (S-1) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Kami menyadari bahwa tugas akhir yang kami susun ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi penulisan maupun materinya. Oleh karena itu kami mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca untuk penyempurnaan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Gregorius Harjanto selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta S.T, M.T. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
3. Bapak Ir. Rusdi Sambada, M.T selaku Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir, dan juga selaku Dosen mata kuliah Rekayasa Tenaga Surya.
4. Bapak Ir. P.K Purwadi, M.T selaku Dosen mata kuliah Perpindahan Panas Dasar, Perpindahan Panas Lanjut, dan Rekayasa Thermal.
5. Saudara Agus Tomi dan Wikan Bimo Pamungkas, yang telah bekerja sama dalam pembuatan alat pemanas air, pengamatan dan pengambilan data, serta dalam penyusunan tugas akhir ini.

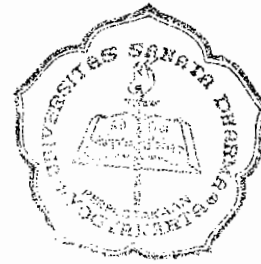
6. Mas Intan dan Mas Martono, yang telah ikut banyak membantu dalam pembuatan alat selama di lap. Teknologi Mekanik.
7. Rekan – rekan mahasiswa Teknik Mesin khususnya angkatan 1999, terima kasih atas dukungannya selama ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga tugas akhir ini bisa berguna dan dapat menambah pengetahuan pembaca.

Yogyakarta, Juni 2004

(Penulis)

DAFTAR ISI



| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | iv |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR GRAFIK | ix |
| ABSTRACT | xi |
| INTI SARI | xii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Pemanas Air Tenaga Surya | 1 |
| 1.2 Pemanas Air Sistem Thermosiphon | 3 |
| | |
| BAB II DASAR TEORI | 7 |
| 2.1 Komponen Pemanas air Thermosiphon | 7 |
| 2.1.1 Kolektor | 7 |
| 2.1.1.a Kolektor pelat datar | 9 |
| 2.1.1.b Kolektor parabola | 10 |
| 2.1.2 Alat Penukar Untuk Pemanas Matahari | 12 |
| 2.1.3 Reflector | 14 |
| 2.1.4 Tangki Penyimpan Panas | 15 |

| | |
|--|----|
| 2.2 Dasar Teori Perancangan | 17 |
| 2.2.1 Efisiensi Sirip (F) | 17 |
| 2.2.2 Koefisien Kerugian Panas Total (U_L)..... | 18 |
| 2.2.3 Faktor Efisiensi (F^*) | 21 |
| 2.2.4 Faktor Pelepas Panas (F_R) | 23 |
| 2.2.5 Persamaan Efisiensi Thermal (η) | 24 |
| | |
| BAB III ANALIS DATA | 25 |
| 3.1 Data Pengamatan | 25 |
| 3.2 Koefisien Kerugian Panas Total (U_L) | 30 |
| 3.2.1 Koefisien kerugian panas atas (U_t) | 30 |
| 3.2.2 Koefisien kerugian panas bawah (U_b) | 32 |
| 3.3 Efisiensi Sirip (F) | 33 |
| 3.4 Koefisien Konduktifitas Fluida (h) | 38 |
| 3.5 Faktor Efisiensi (F^*) | 39 |
| 3.6 Faktor Pelepas Panas (F_R) | 40 |
| 3.7 Persamaan Efisiensi Thermal (η) | 44 |
| | |
| BAB IV PEMBAHASAN | 49 |
| 4.1 Data Selama Pengujian | 49 |
| 4.2 Temperatur Air Masuk | 53 |
| 4.3 Temperatur Air Keluar | 56 |
| 4.4 Temperatur Tangki Penyimpan Air Panas | 58 |
| 4.5 Persamaan Efisiensi Thermal | 61 |

| | |
|--|----|
| BAB V PENUTUP..... | 65 |
| 5.1 Sistem Kerja Pemanas Air Thermosiphon | 65 |
| 5.2 Pearawatan Mesin Pemanas Air | 68 |
| 5.2.1 Mencegah korosi | 68 |
| 5.2.2 Mengendalikan air yang mengandung belerang | 70 |
| 5.2.3 Bersihkan pipa setelah dipakai | 70 |
| 5.2.4 Beberapa saran untuk efisiensi | 71 |
| 5.3 Kesimpulan | 73 |

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR TABEL

- Tabel 3.1 Data pengamatan untuk pipa seri, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.2 Data pengamatan untuk pipa seri, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.3 Data pengamatan untuk pipa seri, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.4 Data pengamatan untuk pipa seri, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.5 Data pengamatan untuk pipa seri, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.6 Data pengamatan untuk pipa pararel, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.7 Data pengamatan untuk pipa pararel, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.8 Data pengamatan untuk pipa pararel, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.9 Data pengamatan untuk pipa pararel, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.10 Data pengamatan untuk pipa pararel, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.11 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.12 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.13 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.14 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.15 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.16 Harga U_L pipa pararel dengan reflector, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.17 Harga U_L pipa pararel dengan reflector, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.18 Harga U_L pipa pararel dengan reflector, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.19 Harga U_L pipa pararel dengan reflector, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.20 Harga U_L pipa pararel dengan reflector, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.21 Harga F , F^* , F_R pipa seri, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.22 Harga F , F^* , F_R pipa seri, Rabu 14 April 2004

- Tabel 3.23 Harga F , F' , F_R pipa seri, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.24 Harga F , F' , F_R pipa seri, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.25 Harga F , F' , F_R pipa seri, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.26 Harga F , F' , F_R pipa pararel, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.27 Harga F , F' , F_R pipa pararel, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.28 Harga F , F' , F_R pipa pararel, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.29 Harga F , F' , F_R pipa pararel, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.30 Harga F , F' , F_R pipa pararel, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.31 Harga persamaan efisiensi therma pipa seri, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.32 Harga persamaan efisiensi therma pipa seri, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.33 Harga persamaan efisiensi therma pipa seri, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.34 Harga persamaan efisiensi therma pipa seri, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.35 Harga persamaan efisiensi therma pipa seri, Sabtu 17 April 2004
- Tabel 3.36 Harga persamaan efisiensi therma pipa pararel, Selasa 13 April 2004
- Tabel 3.37 Harga persamaan efisiensi therma pipa pararel, Rabu 14 April 2004
- Tabel 3.38 Harga persamaan efisiensi therma pipa pararel, Kamis 15 April 2004
- Tabel 3.39 Harga persamaan efisiensi therma pipa pararel, Jumat 16 April 2004
- Tabel 3.40 Harga persamaan efisiensi therma pipa pararel, Sabtu 17 April 2004

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Pemanas air surya system thermosiphon
- Gambar 1.2 Pemanas air thermosiphon
- Gambar 2.1 Ukuran dan bagian pemanas air thermosiphon
- Gambar 2.2 Kolektor
- Gambar 2.3 Penampang lintang suatu pemanas cairan surya
- Gambar 2.4 Tahanan perpindahan panas melalui atas kolektor
- Gambar 2.5 Aliran panas ke dalam kolektor

DAFTAR GRAFIK

- Grafik 4.1 Distribusi suhu thermosiphon pipa seri, Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.2 Distribusi suhu thermosiphon pipa seri, Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.3 Distribusi suhu thermosiphon pipa seri, Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.4 Distribusi suhu thermosiphon pipa seri, Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.5 Distribusi suhu thermosiphon pipa seri, Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.6 Distribusi suhu thermosiphon pipa paralel, Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.7 Distribusi suhu thermosiphon pipa paralel, Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.8 Distribusi suhu thermosiphon pipa paralel, Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.9 Distribusi suhu thermosiphon pipa paralel, Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.11 Distribusi temperatur air masuk kolektor , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.12 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.13 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.14 Distribusi temperatur air masuk kolektor , Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.15 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.16 Distribusi temperatur air keluar kolektor , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.17 Distribusi temperatur air keluar kolektor , Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.18 Distribusi temperatur air keluar kolektor , Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.19 Distribusi temperatur air keluar kolektor , Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.20 Distribusi temperatur air keluar kolektor , Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.21 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa seri , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.22 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa seri , Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.23 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa seri , Kamis 15 April 2004

- Grafik 4.24 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa seri , Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.25 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa seri , Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.26 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa pararel , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.27 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa pararel, Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.28 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa pararel, Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.29 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa pararel, Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.30 Temperatur tanki penyimpan air panas pipa pararel, Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.31 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.33 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri , Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.34 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri , Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.35 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri , Sabtu 17 April 2004
- Grafik 4.36 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa pararel , Selasa 13 April 2004
- Grafik 4.37 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa pararel , Rabu 14 April 2004
- Grafik 4.38 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa pararel , Kamis 15 April 2004
- Grafik 4.39 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa pararel , Jumat 16 April 2004
- Grafik 4.40 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa pararel , Sabtu 17 April 2004

ABSTRACT

A thermosiphon system relies on warm water rising, a phenomenon known as natural convection, to circulate water through the collectors and to the tank. In this type of installation, the tank must be above the collector. As water in the collector heats, it becomes lighter and rises naturally into the tank above. Meanwhile, cooler water in the tank flows down pipes to the bottom of the collector, causing circulation throughout the system. The storage tank is attached to the top of the collector so that thermosiphoning can occur. These systems are reliable and relatively inexpensive but require careful planning in new construction because the water tanks are heavy. They can be freeze-proofed by circulating an antifreeze solution through a heat exchanger in a closed loop to heat the household water.

INTI SARI

Sistem thermosiphon berdasarkan pada kenaikan suhu air, suatu peristiwa yang dikenal sebagai peristiwa konveksi alami untuk mengalirkan air dari kolektor sampai ke dalam tangki. Dalam instalasi ini, tangki harus berada di atas kolektor. Air yang didalam kolektor akan terpanasi dan akan menjadi lebih ringan sehingga akan mengalir secara alami naik ke dalam tangki yang berada di atas. Sementara air yang dingin akan mengalir turun ke bawah menuju kolektor, air ini akan mengisi dan menyebar keseluruh sistem. Tangki penyimpan terhubung dengan bagian atas kolektor yang akan menyebabkan terjadinya sistem aliran secara thermosiphon. Sistem ini relatif murah dan relatif aman, tetapi dalam perancangannya perlu dilakukan dengan hati – hati, terutama untuk konstruksi tangki agar kuat menahan beban tangki yang cukup berat. Peralatan ini dapat diberi anti beku melalui suatu penukar panas yang akan mengalir di dalam sistem secara tertutup untuk memanaskan air yang digunakan untuk rumah tangga.

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Pemanas Air Tenaga Surya

Air panas sekarang ini banyak sekali digunakan dalam beberapa keperluan, mulai dari keperluan rumah tangga hingga untuk proses – proses industri. Air panas ini dapat disediakan langsung dengan cara yang mudah melalui peralatan pemanas air dengan sistem tenaga surya (*Solar Water Heater System*). Tujuan dari pemanas air tenaga surya ini untuk menghemat energi listrik yang digunakan untuk memasok air panas, melalui pancaran tenaga surya / sinar matahari langsung ini, kita dapat memperoleh pemanasan air tanpa harus menggunakan energi listrik.

Pemanas air tenaga surya, yang kebanyakan dari jenis thermosifon telah banyak digunakan di Jepang, Australia, dan Israel. Pemanas thermosiphon merupakan suatu metode konversi energi surya yang sederhana dan sangat efektif, sehingga banyak digunakan di negara sedang berkembang. Pada saat ini kira – kira 60 % dari penjualan kolektor pelat rata di Amerika Utara adalah untuk sistem air panas bagi keperluan rumah tangga. Kebanyakan dari sistem tersebut menggunakan zat anti beku atau dengan mensirkulasi air melalui kolektor. Air dialirkan kembali ke dalam tangki penyimpanan apabila radiasi surya tidak cukup.

Pemanas air sistem thermosiphon merupakan sistem pemanas air yang sederhana, sistem ini hanya terdiri dari sebuah tangki penyimpanan yang ditempatkan lebih tinggi di bagian atas dari kolektor. Thermosiphon diciptakan oleh perbedaan massa jenis fluida , apabila dalam kolektor memperoleh panas dari

matahari, maka massa jenisnya turun; segera setelah perbedaan massa jenis antara kolektor dan tanki telah cukup untuk mengatasi tinggi gesekan dari sistem, maka terjadilah suatu sirkulasi searah jarum jam, air hangat dari kolektor dipindahkan ke tanki penyimpanan dan diganti oleh air yang dingin dari dasar tanki. Sirkulasi ini berlanjut sampai seluruh sistem mencapai temperatur yang seragam. Gerakan sirkulasi fluida ini tidak lagi memerlukan sensor temperatur, alat-alat kontrol, pompa serta motor, telah bertahun – tahun diterapkan dalam ketel uap yang besar.

Pemanas air tenaga surya merupakan suatu peralatan pemanas air yang menggunakan media pemanas yang diperoleh dari radiasi atau pancaran sinar matahari. Pada prinsipnya pemanas air tenaga surya ini didasari prinsip mekanika fluida dan peralatan – peralatan elemen perancangan peralatan konversi energi. Perencanaan *solar water heater system* mencakup prinsip- prinsip perpindahan panas radiasi, konveksi, maupun konduksi.

Sebagai suatu gambaran mengenai tiga cara perpindahan panas dalam sebuah alat pemanas cairan surya, panas mengalir secara konduktif sepanjang pelat penyerap dan melalui dinding saluran. Dari pelat penyerap panas kemudian dipindahkan ke fluida dalam saluran melalui cara konveksi, apabila sirkulasi dilakukan dengan pompa, biasa kita sebut dengan konveksi paksa. Pelat penyerap yang panas itu melepaskan panas ke pelat penutup kaca dengan cara konveksi alamiah dan dengan cara radiasi.

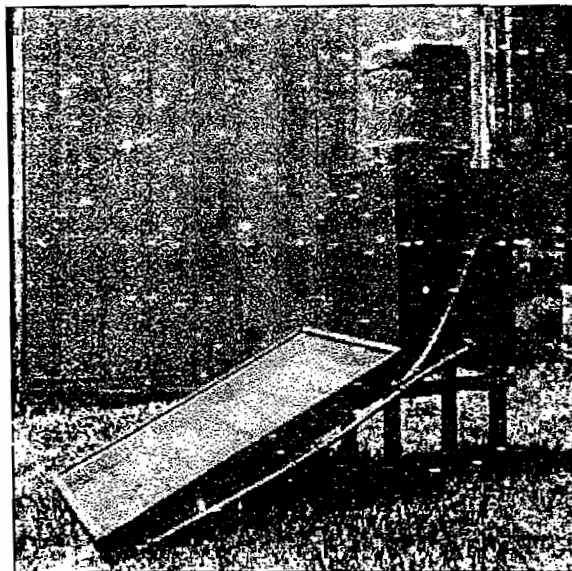
Penggunaan energi surya meliputi pengaturan kedudukan permukaan pengumpulan (kolektor) pada berbagai sudut dengan bidang horisontal. Sementara pengukuran radiasi pada permukaan horisontal di banyak tempat sudah

dilaksanakan, pemanasan pada permukaan yang miring harus turut pula dihitung. Lapisan luar dari matahari yang biasa disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinyu. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air yang menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain penggunaan radiasi bumi yang langsung atau oleh penyerap tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul- molekul gas, debu, uap air dalam atmosfer sebelum sampai ke bumi sebagai radiasi sebaran. Jaringan meteorologi di banyak negara telah mengukur radiasi total yang diterima pada suatu permukaan horisontal untuk kepentingan pertanian dan lain – lain, yaitu jumlah komponen radiasi langsung dan radiasi sebaran. sebaran.

Pada pemanas air tenaga surya ini, prestasi thermal kolektor surya pelat rata digunakan dalam perancangan pemanas surya cairan dan udara dan ditetapkan secara luas dalam stimulasi dan evaluasi sistem surya. Pemanas cairan surya pada umumnya terdiri dari selembat bahan konduktif thermal yang biasa disebut pelat penyerap yang terubung dengan pipa / pembawa cairan pemindah panas. Radiasi thermal ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada pelat penyerap tersebut. Bagian dasar dari sisi –sisinya diisolasi. Alat pemanas cairan digunakan untuk menyediakan air panas untuk keperluan industri dan sistem air panas untuk keperluan rumah tangga.

1.2 Pemanas Air Sistem Thermosifon

Pemanas air sistem thermosifon merupakan salah satu dari sistem pemanas air tenaga surya atau tenaga matahari. Pemanas air tenaga surya menggunakan sinar matahari sebagai sumber panas, ini berbeda dengan pemanas air elektrik yang memerlukan tenaga listrik sebagai sumber energi panas. Pemanas air tenaga matahari ini jauh lebih sederhana dan lebih efisien dibandingkan dengan pemanas air elektrik, karena pemanas air tenaga surya hanya memerlukan panas matahari yang cukup untuk membangkitkan panas yang digunakan untuk memanaskan air di dalam kolektor. Berbeda dengan yang elektrik dimana pemanas air elektrik hanya dapat beroperasi bila ada tenaga listrik, hal ini akan menyulitkan bila pemanas air elektrik ini harus beroperasi di daerah yang belum terjangkau listrik.



Gambar 1. Pemanas air surya system termosifon.

Pemanas air tenaga surya bekerja untuk memanaskan air melalui pemanas pada kolektor. Sinar matahari akan memanasi pipa – pipa kolektor yang akan menyebabkan air yang berada di dalam kolektor akan menjadi ikut terpanasi. Pada saat air di dalam kolektor terkena panas, air akan menjadi memuai dan air akan

menjadi lebih ringan dari pada air dingin yang ada di tangki penyimpan yang terletak di atas kolektor. Adanya pengaruh gaya gravitasi akan mendorong air dingin mengalir turun menuju ke kolektor. Karena adanya dorongan air dingin ke kolektor menyebabkan air panas akan ikut terdorong mengalir keluar dari kolektor pemanas menuju ke tangki penyimpan air panas yang terletak lebih tinggi dari tangki penyimpan air dingin. Demikian siklus ini bekerja, air dingin akan terpanasi oleh kolektor sehingga menjadi lebih ringan dan akan terdorong keatas oleh air dingin, siklus ini terus akan bekerja. Air terus bersirkulasi sehingga seluruh air akan terpanasi dengan suhu secara merata.

Pemanas air tenaga surya dengan sistem thermosiphon tidak membutuhkan pompa maupun alat pengontrol. Air dingin yang hendak dipanasi mengalir dari tangki ke kolektor pemanas. Sinar matahari akan memanaskan air yang mengalir di kolektor dan ditampung pada suatu tangki dan selanjutnya dari tangki air yang telah panas tinggal disalurkan untuk berbagai macam kebutuhan.



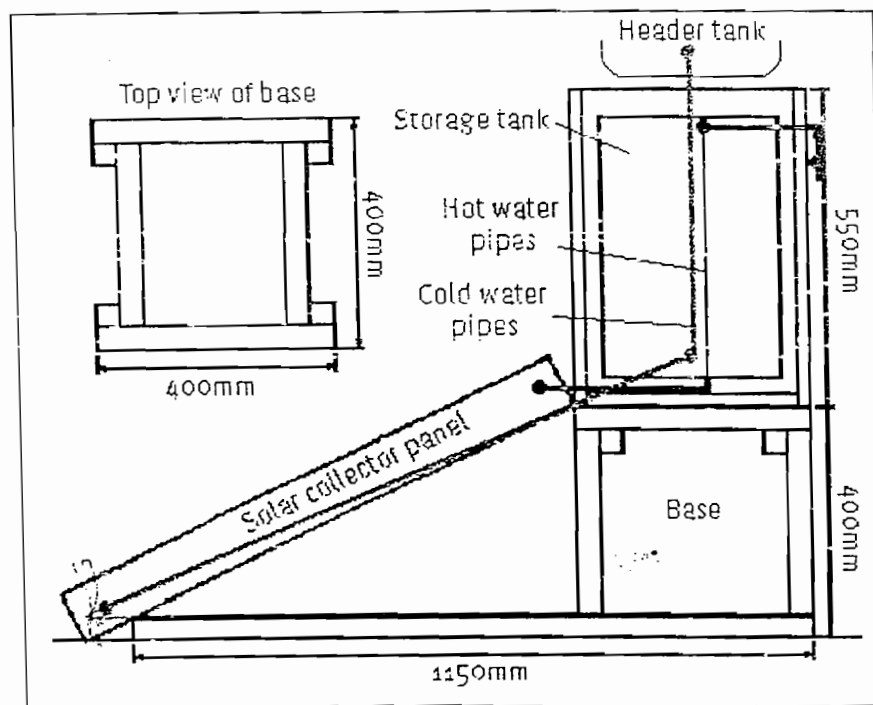
Gambar 2. Pemanas air thermosiphon

Berbeda dengan pemanas air yang bekerja dengan menggunakan pompa. Sistem pompa biasanya dipakai pada daerah dingin, karena udara dingin dapat menyebabkan beku. Solusi sirkulasi antibeku pada kolektor biasanya dipasang penukar panas yang dipasang di tangki penyimpanan. Sistem penukar panas dipompa menuju kolektor pada suatu putaran tertutup. Putaran tersebut sudah termasuk kolektor, pipa penghubung, pompa, tangki ekspansi, dan penukar panas. Kumbaran panas di tengah tangki penyimpanan akan mengirimkan panas dari penukar panas ke air pada tangki penyimpanan sinar matahari. Sebagai alternatif pada pemanas air sistem pompa adalah dengan membungkus penukar panas di sekeliling tangki untuk mengisolasi agar air yang telah panas, tidak terpengaruh oleh temperatur lingkungan yang lebih dingin.

BAB II. DASAR TEORI

2.1 Komponen Pemanas Air Thermosiphon

Sistem sirkulasi air panas adalah sistem air panas yang memutarakan air panas melalui pipa sedemikian sehingga menghasilkan air panas yang stabil. Sebagai suatu sistem pemanas air, maka peralatan ini juga membutuhkan komponen yang sesuai pula dengan jenis operasional yang nantinya akan dijalankan mesin pemanas air thermosifon ini.



Gambar 2.1. Ukuran dan bagian pemanas termosiphon

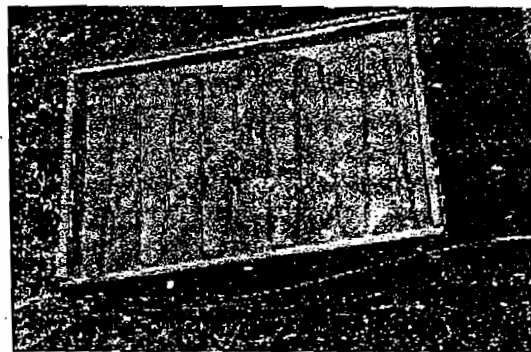
2.1.1 Kolektor

Kolektor merupakan suatu komponen atau peralatan yang fungsinya untuk menangkap atau menerima sinar matahari yang digunakan untuk memanasi air

yang mengalir di dalam kolektor. Bahan untuk kolektor ini menggunakan kaca (*glass*) dan tembaga (*copper*). Kaca berfungsi sebagai penerima dan pengumpul sinar matahari. Kaca bening mempunyai konduktivitas thermal rata-rata 1,38 W/m°C, lebih tinggi dari kaca *ray-ban* yang rata – rata konduktivitas thermalnya 0,95 W/m°C. Diperkirakan ada faktor warna yang berpengaruh pada kaca. Sifat kaca bening menyebabkan panas yang ditransmisikan relatif lebih besar. Kaca bening baik untuk digunakan pada tempat yang langsung terkena sinar matahari.

Tembaga mempunyai sifat sebagai penghantar panas dan penghantar listrik yang sangat tinggi. Selain mempunyai daya hantar panas yang baik, tembaga juga mempunyai daya tahan yang tinggi terhadap terjadinya karat sehingga biasa digunakan pada pembuatan alat pemanas. Tembaga juga bersifat *malleable* dan *ductile*, sehingga dapat lebih mudah dibentuk maupun diroi seperti pada pengerolan untuk pembentukan kolektor.

Kolektor merupakan komponen utama sebagai penerima panas matahari, kolektor ini ada berbagai macam.



Gambar 2.2 Kolektor

2.1.1 a. Kolektor pelat datar

Kolektor pelat datar, merupakan kolektor yang biasa digunakan di rumah untuk pemanas air dan pemanas ruangan. Kolektor pelat rata adalah suatu kotak logam yang dibatasi dengan suatu plastik atau kaca atau penutup plastik yang disebut *glazing* dan suatu piringan peredam berwarna gelap. Pemasangan kaca dapat tembus cahaya atau transparan. Tembus cahaya (hanya memancarkan sinar), kaca tipis adalah suatu material yang umum digunakan untuk kolektor pelat rata sebab kaca tipis memancarkan suatu prosentase yang tinggi dari total energi matahari yang tersedia. Pemasangan kaca memungkinkan cahaya untuk mengenai peredam tapi mengurangi jumlah panas yang dapat dilepas. Alas dan sisi dari kolektor pada umumnya diisolasi, tujuannya untuk memperkecil hilangnya panas.

Plat peredam pada umumnya hitam sebab warna gelap menyerap energi matahari lebih baik dibanding warna terang. Cahaya matahari lewat melalui kaca dan memantul ke plat peredam, yang akan memanaskan dan mengubah radiasi matahari menjadi energi panas. Panas ditransfer ke udara atau cairan yang terdapat pada kolektor itu. Plat peredam biasanya ditutup dengan mantel selektip, yang akan mempertahankan cahaya matahari yang diserap lebih baik dan menjadi lebih tahan lama dibanding cat hitam biasa.

Plat peredam sering dibuat dari logam, pada umumnya tembaga atau aluminium karena kedua-duanya merupakan konduktor panas yang baik. Tembaga lebih mahal, tetapi merupakan konduktor yang lebih baik dan cenderung lebih mudah karatan dibanding aluminium.

2.1.1.b Kolektor parabola

Konsentrasi penggunaan kolektor mencerminkan permukaan untuk mengumpulkan energi matahari pada suatu peredam yang disebut penerima. Kolektor pengumpul juga mencapai temperatur tinggi, tetapi tidak sama dengan tabung kolektor kosong, karena hanya dapat melakukan pemanasan ketika tersedianya cahaya matahari secara langsung. Permukaan untuk memusatkan pengumpulan cahaya matahari di atas suatu area yang besar ke suatu area peredam yang lebih kecil hingga mencapai temperatur yang cukup tinggi. Penerima ditempatkan di titik-api atau sepanjang garis yang fokal. Suatu pemindahan kalor mengalirkan fluida sampai ke penerima dan panas yang diperoleh akan diserap.

Kolektor parabola memungkinkan memperoleh temperatur yang lebih tinggi dibanding kolektor pelat datar. Bagaimanapun juga, pengumpul hanya dapat memusatkan radiasi matahari langsung, dengan hasil yang lebih sedikit pada hari yang berawan atau mendung. Pengumpul adalah alat yang paling praktis di area *insolation* tinggi (terpusat kepada sinar matahari), seperti wilayah yang dekat dengan garis katulistiwa dan di padang pasir barat daya Amerika Serikat.

Kolektor parabola menghasilkan panas yang baik ketika diarahkan secara langsung ke matahari. Untuk melakukan hal ini, sistem ini harus mengikuti mekanisme dengan menggerakkan kolektor sepanjang hari untuk menjaga agar kolektor tetap terpusat pada matahari. Satu arah perpindahan matahari dari timur ke barat; dan perpindahan matahari dari arah utara dan selatan (untuk mengikuti matahari sepanjang tahun).

Pengumpul kebanyakan digunakan untuk aplikasi komersil. Beberapa sistem energi matahari menggunakan parabola yang memusatkan sinar. Kolektor ini dapat digunakan untuk menyediakan air panas, memanaskan ruangan, dan pemurnian air. Kolektor parabola yang sering digunakan di perumahan adalah kolektor yang menggunakan penggerak satu arah yang lebih sederhana dan lebih murah dibanding penggerak dua arah.

Kolektor matahari yang terdiri dari suatu peredam tembaga yang berfungsi untuk menyalurkan energi panas hasil radiasi matahari untuk memanasi air. Untuk membatasi terjadinya kehilangan panas dengan kaca bagian atas diberikan suatu lapisan penyekat didalamnya. Jika kondisi hangat maka, kaca dan penyekat tidak diperlukan. Hubungan antara pipa peredam dan pipa penyalur harus dilakukan dengan teliti untuk masing – masing sisi. Pipa disolder pada plat peredam menggunakan logam yang akan menekan pipa pada bagian atas pelat logam. Dalam proses ini kita harus melakukannya dengan teliti untuk memanaskan pelat. Kolektor dapat disambung menggunakan suatu konstruksi pelat logam sederhana, untuk penguatan dapat digunakan bingkai/kotak dari kayu.

Kolektor matahari menjadi jantung dari sistem energi matahari. Kolektor menyerap energi cahaya matahari dan merubahnya menjadi energi panas. Kolektor matahari memanaskan suatu zat cair, baik udara maupun cairan. Cairan ini kemudian digunakan untuk memanaskan secara langsung, maupun tidak langsung tergantung dari kegunaan air apakah untuk rumah tangga, pemanas ruang di dalam rumah, air untuk kolam renang, ataupun udara atau air yang digunakan untuk penggunaan komersil.

2.1.2 Alat Penukar Panas untuk Pemanasan Matahari

Pemindahan kalor ke cairan pembawa panas dari kolektor matahari ke tangki penyimpan panas di sistem pemanasan matahari (dan pendinginan). Cairan yang paling umum digunakan adalah air, propylene glycol, ethylene glycol, dan udara. Cairan yang tidak terlalu umum adalah hidrokarbon buatan, hidrokarbon lilin, minyak mineral suling berbau harum, bahan pendingin, dan silikon.

Ketika memilih suatu cairan perpindahan, perlu mempertimbangkan ukuran - ukuran berikut yaitu : koefisien muai, sifat merekat, kapasitas termal, titik beku, titik didih, dan titik nyala. Sebagai contoh, di suatu udara dingin, sistem matahari memerlukan cairan dengan titik beku rendah. Cairan untuk temperatur yang tinggi seperti di suatu iklim padang pasir , perlu mempunyai suatu titik didih tinggi. Suatu cairan dengan sifat merekat yang rendah dan kapasitas termal yang tinggi membuat pemompaan menjadi mudah, sebab akan lebih mudah mengalir dan dapat memindahkan panas lebih banyak.

Udara tidak akan membeku atau mendidih, dan tidak bersifat menghancurkan. Tetapi bagaimanapun juga, udara mempunyai suatu kapasitas panas sangat rendah, dan cenderung keluar dari kolektor, saluran pipa, dan plat logam. Air adalah bahan yang murah dan tidak beracun. Air mempunyai suatu titik panas tertentu, dan mempunyai sifat merekat sangat rendah, sehingga mudah di pompa. Tetapi, air mempunyai suatu titik didih yang rendah dan titik beku tinggi. Air dapat bersifat menghancurkan jika pH (tingkatan acidity / alkalinas) tidak dijaga pada suatu tingkatan netral. Air dengan mineral yang tinggi dapat menyebabkan pengumpulan mineral yang akan terbentuk di dalam sistem dan tabung kolektor.

pada suatu tingkatan netral. Air dengan mineral yang tinggi dapat menyebabkan pengumpulan mineral yang akan terbentuk di dalam sistem dan tabung kolektor.

Fase perubahan cairan ada beberapa macam, biasanya digunakan sebagai pemindahan kalor di lemari es, alat pendingin, dan pompa panas. Biasanya mempunyai suatu titik didih rendah dan kapasitas panas tinggi. Ini memungkinkan sejumlah bahan pendingin yang sedikit untuk memindahkan sejumlah besar panas secara efisien.

Penukar panas adalah alat yang memindahkan panas dari suatu bahan cair (cairan atau gas). Banyak peralatan rumah tangga dan mesin berisi penukar panas. Suatu radiator mobil adalah suatu penukar panas. Alat ini akan memindahkan panas dari mesin ke udara yang di luar yang lebih dingin, hal ini akan mencegah mesin menjadi terlalu panas. Lemari es dan alat pendingin mempunyai penukar panas untuk mengusir panas; tungku perapian mempunyai penukar panas untuk memanaskan udara yang dingin yang masuk tungku perapian itu. Sistem matahari juga menggunakan penukar panas untuk memindahkan energi matahari dalam kolektor matahari kepada udara atau cairan yang digunakan untuk memanaskan ruang atau air.

Penukar panas dapat dibuat dari baja, tembaga, perunggu, baja tahan-karat, aluminium, atau besi cor. Sistem pemanasan matahari pada umumnya menggunakan tembaga, sebab bahan ini merupakan suatu konduktor yang panas yang baik dan tidak mudah karatan.

Ada banyak desain penukar panas. Satu desain yang digunakan di dalam sistem alat pemanas air tenaga matahari domestik adalah desain gulungan dalam tangki

Penukar panas adalah suatu gulungan tabung di tangki penyimpanan. Biasanya merupakan suatu tabung tunggal (penukar panas dinding tunggal) atau dua tabung tipis (penukar panas dinding ganda). Akan lebih efisien jika menempatkan gulungan pada bagian luar dari kolektor tangki dengan suatu tutup.

Desain yang lain adalah penukar panas rangka dan tabung. Penukar panas ini terpisah dari tangki penyimpanan. Alat ini mempunyai dua gulungan cairan terpisah di dalam suatu tangki. Aliran fluida mengalir pada arah yang berlawanan satu dengan yang lain sampai ke alat penukar panas, yang akan memaksimalkan pemindahan kalor. Di satu gulungan, cairan yang akan dipanaskan (seperti air minum) mengalir sampai tabung dalam. Dalam gulungan kedua, aliran pemindahan kalor fluida antar rangka dan tabung air. Rangka dan tabung harus dibuat dari material yang sama.

2.1.3 Reflektor

Reflektor merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk memantulkan panas yang dipancarkan oleh matahari. Reflektor merupakan suatu media untuk mengumpulkan lebih banyak sorotan radiasi dari sinar matahari. Dengan adanya reflektor ini sinar matahari yang berada diluar jangkauan kolektor dapat dipantulkan oleh reflektor sehingga akan terkumpul di tengah kolektor. Oleh karena itu sudut kolektor harus dicari agar radiasi sinar matahari yang diterima kolektor dapat sampai ke kolektor dengan efektif. Apabila sudut dari reflektor tidak sesuai maka radiasi sinar matahari yang dipantulkan reflektor tidak akan diterima oleh kolektor pemanas dengan baik.

Untuk mengetahui besarnya sudut yang diperlukan agar radiasi sinar matahari dapat terpantul dengan baik, maka perlu dicari besarnya sudut yang sesuai. Besarnya sudut ini dapat dicari dengan menggunakan cermin. Cermin diletakkan dipermukaan reflektor, kemudian dicari sudut pantul yang sesuai yaitu dengan melihat sinar yang dipantulkan oleh cermin. Cermin akan memantulkan sinar matahari ke kolektor. Setelah dicapai besarnya sudut yang sesuai, reflektor perlu dibuatkan suatu pegangan agar sudut yang telah dicapai tidak berubah selama pengujian.

Reflektor ini dibuat dari bahan yang mempunyai daya untuk memantulkan cahaya dengan baik. Untuk pemanas air ini digunakan bahan berupa *aluminium foil*. Aluminium foil dapat memantulkan radiasi sinar matahari dengan baik, karena mempunyai warna yang mendekati perak dan terang sehingga sinar yang diperoleh dapat terpantul dengan sempurna. Selain itu kalau dilihat dari segi ekonomis, aluminium foil sangat murah dibanding dengan logam lain yang dapat memantulkan sinar. Aluminium foil ini direkatkan atau dilem pada lembaran karton dan dipasang pada sisi-sisi kolektor. Dengan adanya reflektor ini diharapkan panas yang diperoleh dapat lebih tinggi karena luasan untuk menyerap panas pada kolektor jadi lebih luas.

2.1.4 Tangki Penyimpan Air.

Air yang nantinya akan disirkulasikan terlebih dahulu akan disimpan dan ditampung di dalam tangki. Oleh karena itu tangki penyimpan harus mempunyai sifat yang tahan terhadap sifat air, diantaranya harus tahan terhadap terjadinya

karat. Apabila tangki penampung air ini mudah terkena karat ini akan sangat berbahaya, karena air yang disimpan akan ikut jadi kotor tercemar oleh karat yang ada di tangki.

Tangki penyimpan air sebaiknya menggunakan bahan yang tidak mudah berkarat dan juga dari bahan yang tahan terhadap panas, walaupun pada alat pemanas air ini suhu air yang dihasilkan tidak terlalu panas atau masih dibawah titik didih air 100°C . Alat pemanas air thermosifon ini akan mempergunakan tangki yang terbuat dari plastik. Tangki plastik ini seperti yang telah di jelaskan salah satunya untuk menghindari terjadinya karat. Dengan tangki yang terbuat dari bahan plastik ini pula, pengerjaannya akan lebih mudah, karena plastik mudah dibentuk dan relatif tahan terhadap terjadinya panas. Tangki yang akan digunakan untuk menyimpan dan menampung air harus bebas dari segala kotoran agar tidak mengotori pipa kolektor.

Tangki yang terpasang juga harus diberi isolasi untuk menjaga agar suhu air bisa stabil dan untuk mengurangi adanya penurunan suhu akibat adanya pengaruh suhu lingkungan sekitar. Isolasi ini sangat penting, apalagi kalau air yang dipanasi telah sampai pada suhu yang maksimal. Dengan adanya isolasi ini diharapkan dapat mencegah keluarnya suhu air panas dari tangki ke luar.

Isolasi yang digunakan pada perancangan mesin pemanas air tenaga surya sistem thermosiphon adalah isolasi yang terbuat dari bahan *glass-woll*. Alasan utama karena *glass-woll* ini hanya mempunyai angka konduktivitas panas yang sangat kecil.

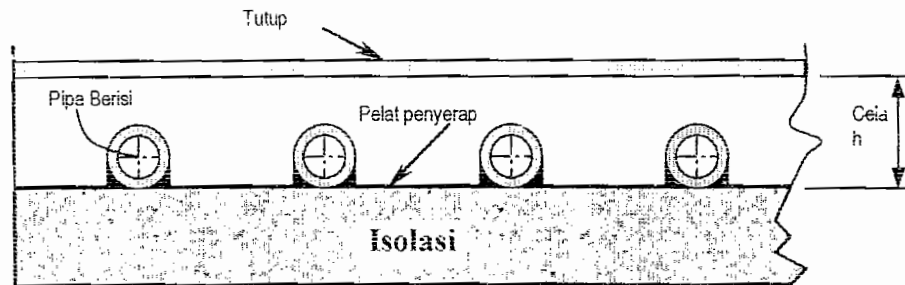
2.2 Dasar Teori Perancangan

Pemanas cairan tenaga surya pada umumnya terdiri dari selembara bahan konduktif thermal yang biasa disebut pelat penyerap yang menyambung pipa pembawa cairan pemindah panas. Radiasi surya ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada pelat penyerap tersebut. Bagian dasar dari sisi – sisinya diisolasi. Berbagai macam mekanisme perpindahan panas dalam kolektor surya cair merupakan hal yang harus dibahas dalam bagian berikut. Pemanas cairan digunakan untuk memanaskan air untuk berbagai keperluan, dari rumah tangga hingga untuk keperluan industri.

2.2.1 Efisiensi sirip (F)

Efisiensi sirip merupakan parameter yang sangat penting dalam perancangan kolektor surya jenis cairan. Pelat penyerap memindahkan panasnya secara konduksi ke pipa – pipa secara mekanis dan thermal tersambung pada pelat penyerap itu. Hal ini dapat dicapai dengan memilih lembar penyerap dengan konduktivitas thermal yang baik, ketebalan yang cukup memadai, serta dengan aliran panas sependek mungkin.

Dalam kolektor surya, efisiensi sirip adalah suatu ukuran untuk mengetahui kebaikan radiasi yang diserap dan diubah menjadi panas yang dikondisikan ke bagian dasar sirip.

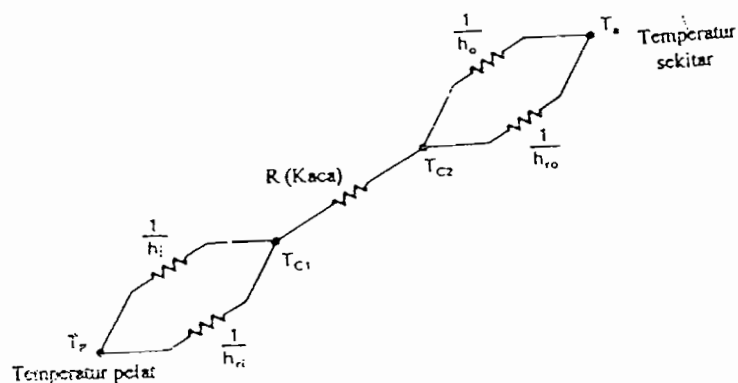


Gambar 2.3 Penampang lintang suatu pemanas cairan surya.

$$\text{Efisiensi sirip (F)}^{*1} = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right) \right]}{\sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \left(\frac{s-d}{2} \right)} \quad (2.01)$$

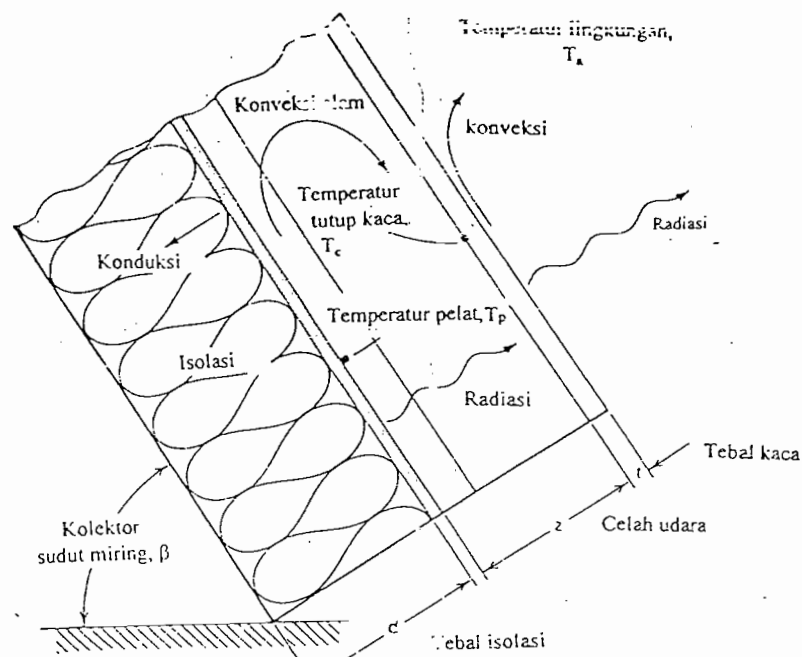
2.2.2 Koefisien kerugian opanas total (U_L)

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



Gambar 2.4 Tahanan perpindahan panas melalui atas kolektor (W. Aris Munandar, Teknologi Rekayasa Surya, Hal. 48)

*1 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-1)



Gambar 2.6 Kerugian panas kolektor.
(W. Aris Munandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal. 47)

Kerugian panas ini disebut kerugian atas (U_t) dan dinyatakan dengan persamaan^{*2} :

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \quad (2.02)$$

dengan:

h_i : Koefisien konveksi (alam) dalam ($W/m^2.K$)

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

R (kaca) : Tebal/konduktivitas thermal ($1/K; m_2.K/W$)

h_o : Koefisien konveksi luar ($W/m^2.K$)

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

h_i diperoleh dari Grafik 2 dengan terlebih dahulu menghitung fungsi – fungsi

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 yang didefinisikan sebagai berikut :

*2 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-3)

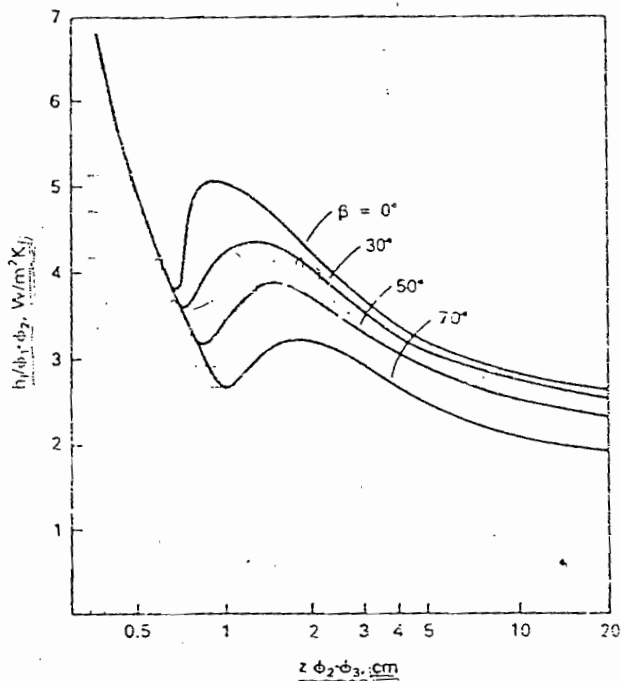
$$\phi_1 = \frac{137}{(T_m + 200)^{1/3} \cdot T_m^{1/2}} \quad *3 \quad (2.03)$$

$$\phi_2 = \frac{T_p - T_c}{50} \quad *4 \quad (2.04)$$

$$\phi_3 = \frac{1428 \cdot (T_m + 200)^{2/3}}{T_m^2} \quad *5 \quad (2.05)$$

denagn temperatur rata – rata :

$$T_m = \frac{T_p - T_c}{2} \quad *6 \quad (2.06)$$



Grafik 1. Koefisien konveksi alam h_i dalam celah udara (W. Aris Munandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal 49)

koefisien radiasi dalam ekivalen h_{ri} dinyatakan dengan persamaan :

*3 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-4)

*4 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-5)

*5 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-6)

*6 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 48

$$h_{ri} = \frac{\sigma \cdot (T_p^2 + T_c^2) \cdot (T_p + T_c)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right)} \quad *8 \quad (2.08)$$

Koefisien konveksi luar h_o dinyatakan dengan persamaan :

$$h_o = (5,7) + (3,8) \cdot V \quad *9 \quad (2.09)$$

dengan V adalah kecepatan angin (m/dt^2)

koefisien konveksi luar ekivalen h_{ro} dinyatakan dengan persamaan :

$$h_{ro} = \frac{\varepsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{langit}^4)}{T_c - T_{langit}} \quad (2.10)$$

dengan temperatur langit $T_{langit} = (0,0552)$. *10 (2.11)

Koefisien kerugian atas U_L ditentukan dengan menambahkan koefisien kerugian atas U_t dengan koefisien kerugian bawah U_b

$$U_b = \frac{k}{t} \quad *11 \quad (2.12)$$

sehingga kerugian panas total :

$$U_L = U_b + U_t \quad *12 \quad (2.13)$$

2.2.3 Faktor efisiensi (F')

Karena temperatur T_p dari pelat penyerap berubah-ubah sepanjang dan melintang pelat itu, maka persamaan perolehan panas kolektor dan persamaan

*8 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 50

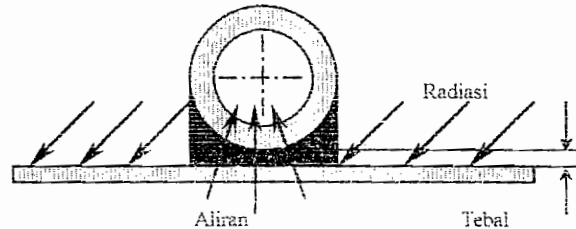
*9 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-7)

*10 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-9)

*11 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 52

*12 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 52

efisiensinya biasa dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur fluida masuk T_i yang relatif mudah dikontrol dan diukur selama pengujian dan pengoperasian.



Gambar 2.5 Aliran panas ke dalam cairan

Faktor efisiensi dinyatakan dengan persamaan :

$$F' = \frac{1/U_L}{s \left[\frac{1}{R\delta} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{R_f} \right]} \quad *13 \quad (2.14)$$

dengan : $R\delta$ = Tahanan sirip

C_b = Konduktivitas perekat

R_f = Tahanan thermal fluida

tahanan sirip $R\delta$ dinyatakan dengan persamaan :

$$R\delta = U_L [(s-d) \cdot F + d] \quad (2.15)$$

dengan d adalah diameter pipa (m)

konduktivitas perekat C_b , dinyatakan dengan persamaan :

$$C_b = \frac{k_p \cdot b}{l} \quad (2.16)$$

dengan : k_p : konduktivitas thermal perekat ($W/m^2 \cdot K$)

b : panjang perekat (m)

l : tebal perekat (m)

R_f dinyatakan dengan persamaan :

$$R_f = h \cdot \pi \cdot d \quad (3.17)$$

h dinyatakan dengan persamaan :

$$h = N_u \frac{k}{d_i} \quad (2.18)$$

dengan : N_u : Bilangan Nussel (di cari dengan Grafik)

k : konduktivitas thermal fluida (W/m.K)

untuk mencari harga h terlebih dahulu harus diketahui besarnya Bilangan Reynold

$$Re = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d_i \cdot \mu} \quad *14 \quad (2.19)$$

dengan m : laju aliran massa (kg/s)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

$$\text{Bilangan Prandtl, } Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad *15 \quad (2.20)$$

2.2.4 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.

Faktor pelepasan panas dinyatakan dengan persamaan :

*14 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 56

*15 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, hal 56

$$F_R = \frac{G.C_p}{U_L} \left[1 - \exp - \left(\frac{U_L.F'}{G.C_p} \right) \right] \quad *16 \quad (2.21)$$

dengan ; G = laju aliran massa fluida (kg/m².s)

C_p = panas jenis fluida (kJ/kg.°C)

2.2.5 Persamaan Efisiensi Thermal

Apabila panas yang keluar dari sebuah kolektor pelat rata di bagi dengan masukan, yaitu masukkan radiasi pada kolektor, perbandingan yang dihasilkan adalah

$$\eta = F_R.(\tau\alpha) - F_R.U_L. \left(\frac{T_i - t_a}{G_T} \right) \quad *17 \quad (2.22)$$

dengan η didefinisikan sebagai efisiensi thermal kolektor, dan F_R dan U_L biasanya konstan dalam daerah operasi kolektor.

Karena itu bilangan $F_R.(\tau\alpha)$ dan $-F_R.U_L$ adalah karakteristik prestasi thermal dari kolektor surya pelat rata, dan merupakan masukan bagi sejumlah program komputer untuk sistem energi surya.

*16 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-15)

*17 Ted. J. Jansen, Prof. Wiranto Arismunandar, *Teknologi Rekayasa Surya*, pers (3-19)

BAB III. ANALISA DATA

Dalam bagian ini data yang telah diperoleh selama pengujian akan dianalisa untuk mengetahui hasil pengujian juga prestasi kerja dari pemanas air thermosiphon. Untuk itu sebelum dilakukan analisa data, disini akan ditunjukkan keseluruhan data yang diperoleh selama pengujian atau pengambilan data.

3.1 Data Pengamatan

a. *Pipa seri dengan reflector*



Tabel 3.1 Data pengamatan untuk pipa seri, Selasa 13 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 28.8 | 27 | 20.5 | 54.2 | 53.5 | 39.5 | 34.4 | 32.2 |
| 9:30 | 32.5 | 29.8 | 24 | 57.5 | 58.7 | 44.9 | 37.6 | 33 |
| 10:00 | 33.3 | 31.3 | 24.2 | 63.6 | 62.2 | 55.1 | 40.1 | 34.7 |
| 10:30 | 38.4 | 33 | 25 | 69.2 | 65.8 | 62.7 | 50.7 | 36.9 |
| 11:00 | 42.3 | 32.2 | 23.6 | 68.1 | 65.1 | 59.2 | 55.2 | 37.9 |
| 11:30 | 47.2 | 30.8 | 23 | 72.4 | 66.2 | 60.1 | 56.2 | 39.2 |
| 12:00 | 40.7 | 35.2 | 30.1 | 67.2 | 56.1 | 49.4 | 48.5 | 37.4 |
| 12:30 | 45.7 | 36.2 | 28.6 | 69.6 | 61.2 | 51.7 | 49.1 | 37.2 |
| 13:00 | 44.9 | 35.2 | 31.1 | 66.3 | 60.1 | 59.6 | 48.4 | 36.2 |
| 13:30 | 40.9 | 35.2 | 25.4 | 56.8 | 55.1 | 54.9 | 48.2 | 34.7 |
| 14:00 | 42.1 | 36.1 | 30.8 | 55.2 | 60.9 | 60.8 | 51.1 | 33.3 |

Tabel 3.2 Data pengamatan untuk pipa seri, Rabu 14 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 31 | 25.8 | 19.4 | 61.8 | 57.1 | 41.9 | 38.6 | 33.5 |
| 9:30 | 37.3 | 29.2 | 23.8 | 66.8 | 62 | 55.3 | 41.5 | 33.8 |
| 10:00 | 37.1 | 29.7 | 24.8 | 70.8 | 64.1 | 58.5 | 46.3 | 33.6 |
| 10:30 | 45.9 | 32.2 | 27.3 | 77.4 | 72.3 | 64 | 56.9 | 36.8 |
| 11:00 | 48.8 | 32.8 | 27.3 | 84.4 | 76.5 | 69.5 | 61.7 | 38 |
| 11:30 | 50.6 | 38.8 | 27 | 86.1 | 74.6 | 71.8 | 65.7 | 38.2 |
| 12:00 | 53.7 | 35.7 | 24.2 | 83.2 | 79 | 77 | 72 | 37 |
| 12:30 | 52.3 | 33.2 | 21.9 | 84.9 | 76.7 | 75.6 | 72.2 | 36 |
| 13:00 | 46.5 | 33.2 | 21.4 | 82.4 | 74.2 | 73.6 | 71.6 | 33.2 |

| | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13:30 | 50 | 37.9 | 28.1 | 77.7 | 73.5 | 72.6 | 72.4 | 35.1 |
| 14:00 | 39.9 | 38.8 | 28.4 | 53.2 | 71 | 70.6 | 69.9 | 35 |

Tabel 3.3 Data pengamatan untuk pipa seri, Kamis 15 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 35 | 26.1 | 19.6 | 60 | 58.8 | 41.3 | 40.1 | 36.1 |
| 9:30 | 37.8 | 29.7 | 22 | 66 | 65.8 | 57.8 | 42.3 | 35.8 |
| 10:00 | 38.6 | 31.6 | 24.1 | 70.1 | 66.9 | 64 | 47.1 | 36.5 |
| 10:30 | 45.3 | 31.6 | 23.7 | 77.1 | 71.5 | 63.5 | 59.3 | 35.5 |
| 11:00 | 44.4 | 33.1 | 25.1 | 62.3 | 73.3 | 65.8 | 61.4 | 35 |
| 11:30 | 50.2 | 33.5 | 26.5 | 80.6 | 72.9 | 69.8 | 63.1 | 34.6 |
| 12:00 | 53.7 | 35.9 | 27.4 | 79.8 | 73 | 71.7 | 67.5 | 35.8 |
| 12:30 | 53.5 | 37.4 | 29.9 | 77.1 | 73 | 72 | 70.5 | 36.5 |
| 13:00 | 47.7 | 35.6 | 24.3 | 67.1 | 70.1 | 70.7 | 69.3 | 35.5 |
| 13:30 | 40.5 | 36 | 28.5 | 49.4 | 70.3 | 69.9 | 69.1 | 34.9 |
| 14:00 | 35.9 | 38.1 | 28.6 | 44.1 | 70.1 | 71 | 65 | 33 |

Tabel 3.4 Data pengamatan untuk pipa seri, Jumat 16 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 36.9 | 26.8 | 22.9 | 62.5 | 59.3 | 47.6 | 42.1 | 33.9 |
| 9:30 | 42.9 | 30 | 23.1 | 65.8 | 64.8 | 57.7 | 47 | 33.2 |
| 10:00 | 42 | 30.1 | 22 | 67.2 | 62.9 | 59.5 | 47.6 | 35.4 |
| 10:30 | 47.5 | 30.8 | 23 | 72.4 | 66.2 | 60.1 | 56.2 | 38.2 |
| 11:00 | 51 | 34.5 | 27 | 76.5 | 69.2 | 64.8 | 61.1 | 33.9 |
| 11:30 | 49.6 | 34.3 | 28.1 | 78.9 | 72.9 | 66.1 | 61.3 | 35.9 |
| 12:00 | 52.5 | 36.7 | 28.1 | 78.9 | 72.9 | 70.1 | 64.5 | 38 |
| 12:30 | 55.5 | 36.8 | 29.8 | 78.8 | 70.6 | 69.8 | 65.4 | 36.5 |
| 13:00 | 54.1 | 36.2 | 26.5 | 76.4 | 69.69 | 69.6 | 69.1 | 33.5 |
| 13:30 | 39.4 | 38.4 | 27.2 | 67.1 | 69.7 | 71.6 | 71.6 | 34.4 |
| 14:00 | 43.5 | 36.5 | 27.3 | 54.8 | 69.5 | 68.8 | 69.7 | 32 |

Tabel 3.5 Data pengamatan untuk pipa seri, Sabtu 17 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 32.2 | 28 | 21.6 | 56.4 | 54.3 | 45.3 | 37.8 | 30.8 |
| 9:30 | 40.6 | 32.2 | 25.2 | 65.7 | 64.7 | 56.6 | 48.1 | 34 |
| 10:00 | 39.1 | 31.6 | 24.6 | 67.6 | 65.2 | 59.6 | 47.1 | 34.1 |
| 10:30 | 43 | 33.7 | 26 | 71.2 | 68.3 | 62 | 51.7 | 34.1 |
| 11:00 | 45.7 | 33.6 | 26.2 | 72.6 | 71.8 | 65.3 | 59.5 | 34.2 |
| 11:30 | 45.7 | 33.9 | 25.4 | 74.8 | 70.9 | 69.4 | 61.2 | 35.6 |

| | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12.00 | 49.9 | 34.5 | 27.3 | 74.9 | 70.9 | 67.4 | 63.6 | 34.4 |
| 12.30 | 51.2 | 34.5 | 25 | 75 | 70.7 | 68.4 | 66 | 34 |
| 13.00 | 53.4 | 35.3 | 29.6 | 72.8 | 70.4 | 71.6 | 67 | 32.1 |
| 13.30 | 39.8 | 33.4 | 27.2 | 42.8 | 71 | 70.7 | 65.1 | 32.5 |
| 14.00 | 36.5 | 33.3 | 27.1 | 37.3 | 69.6 | 70.1 | 63.3 | 31.3 |

b. pipa paralel dengan reflector

Tabel 3.6 Data pengamatan untuk pipa paralel, Selasa 13 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 32 | 25 | 26.5 | 46.8 | 46.2 | 39 | 37.8 | 32.2 |
| 9:30 | 39.5 | 26.7 | 27.9 | 53.1 | 50.2 | 46.8 | 39.8 | 33 |
| 10:00 | 44.5 | 26.7 | 31.1 | 59.2 | 55.2 | 50.8 | 49 | 34.7 |
| 10:30 | 50 | 26.9 | 33.4 | 64.8 | 59.7 | 58.2 | 55 | 36.9 |
| 11:00 | 52.5 | 28.4 | 36.1 | 65.5 | 63.9 | 61.4 | 59.1 | 37.8 |
| 11:30 | 59.8 | 30.2 | 38.6 | 71.5 | 68.3 | 66.3 | 63.5 | 39.5 |
| 12:00 | 60 | 31.7 | 40 | 73.4 | 70.5 | 67.6 | 63.4 | 37.5 |
| 12:30 | 59.9 | 30 | 39.6 | 72.5 | 72.3 | 67.5 | 64.4 | 37.3 |
| 13:00 | 60.9 | 34.9 | 43 | 74.2 | 69.4 | 66.6 | 65.9 | 36.2 |
| 13:30 | 48.3 | 32.4 | 42.3 | 64.2 | 67.4 | 64.1 | 63 | 34.7 |
| 14:00 | 42 | 28.3 | 37.3 | 45 | 71.4 | 69.8 | 67.8 | 33.3 |

Tabel 3.7 Data pengamatan untuk pipa paralel, Rabu 14 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 43.0 | 26 | 26.7 | 54.3 | 52.5 | 45.8 | 44.3 | 33.5 |
| 9:30 | 45.6 | 26.4 | 29.6 | 57.6 | 57.4 | 54.1 | 48.8 | 33.8 |
| 10:00 | 51.9 | 24.7 | 30.1 | 65.9 | 63.3 | 57.3 | 55.5 | 33.6 |
| 10:30 | 55.1 | 25.1 | 33 | 70.8 | 69.6 | 67.6 | 62.9 | 36.8 |
| 11:00 | 60.3 | 26.5 | 32.5 | 73.2 | 70.9 | 67.9 | 64.6 | 38 |
| 11:30 | 63.2 | 25.1 | 33.4 | 76 | 73.3 | 72.9 | 70 | 38.2 |
| 12:00 | 65 | 25.5 | 35.4 | 78.9 | 75.9 | 75.3 | 73.8 | 37 |
| 12:30 | 63.3 | 27 | 35.5 | 78.7 | 78.6 | 77.8 | 76.7 | 36 |
| 13:00 | 60.2 | 27.1 | 36.5 | 74.2 | 73.8 | 72.8 | 72.1 | 33.2 |
| 13:30 | 66.4 | 26 | 37.4 | 75.1 | 72 | 70.4 | 70 | 35.1 |
| 14:00 | 60.8 | 31.8 | 43.5 | 67.1 | 72.1 | 70.7 | 69.7 | 35 |

Tabel 3.8 Data pengamatan untuk pipa paralel, Kamis 15 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 29.2 | 22.6 | 22 | 46.7 | 40.4 | 34.4 | 30 | 36.1 |
| 9:30 | 32.6 | 24.7 | 26.4 | 51.2 | 46.4 | 45.6 | 38.6 | 35.8 |
| 10:00 | 44 | 25.3 | 29.8 | 61.3 | 52.2 | 49.6 | 47.1 | 36.5 |
| 10:30 | 47.4 | 29.6 | 33.7 | 63.8 | 61.2 | 58.2 | 53.5 | 35.5 |
| 11:00 | 50.3 | 33.1 | 32.9 | 67.3 | 63.8 | 59.5 | 59.2 | 35 |
| 11:30 | 53.8 | 28 | 35.1 | 72.2 | 66.9 | 64.7 | 63.5 | 34.6 |
| 12:00 | 54 | 22.5 | 34.5 | 81.4 | 67.8 | 67.6 | 63.4 | 35.8 |
| 12:30 | 52 | 24.6 | 37.1 | 80.2 | 68.7 | 63.6 | 59.4 | 36.5 |
| 13:00 | 47.9 | 25.5 | 38.6 | 77.1 | 67.6 | 67 | 62.6 | 35.5 |
| 13:30 | 49.2 | 32.4 | 38.9 | 62 | 70.2 | 65.8 | 59.9 | 34.9 |
| 14:00 | 45.6 | 39.4 | 46.2 | 56.2 | 66 | 67.8 | 65.3 | 33 |

Tabel 3.9 Data pengamatan untuk pipa paralel, Jumat 16 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9:00 | 39.5 | 24.4 | 27.6 | 55.2 | 53.4 | 45.7 | 43.6 | 33.9 |
| 9:30 | 42 | 26.1 | 28.9 | 57.7 | 57.4 | 51.2 | 45.8 | 33.2 |
| 10:00 | 49.8 | 26 | 31.3 | 65.6 | 63.8 | 56.5 | 53.7 | 35.4 |
| 10:30 | 54 | 25.8 | 30.8 | 69 | 68.4 | 64.1 | 59.1 | 38.2 |
| 11:00 | 56.7 | 26.7 | 30.9 | 64.2 | 67.2 | 65.2 | 51.4 | 33.9 |
| 11:30 | 58.2 | 25.1 | 32 | 71.3 | 70.4 | 65.4 | 65 | 33.8 |
| 12:00 | 58.8 | 23.3 | 31.2 | 71 | 67.1 | 63.2 | 62.3 | 38 |
| 12:30 | 61.8 | 22.6 | 33.1 | 72.4 | 68 | 65.8 | 65.5 | 36.5 |
| 13:00 | 64.2 | 24.4 | 34.7 | 73 | 67.7 | 64.8 | 64.3 | 33.5 |
| 13:30 | 47.7 | 23.9 | 35.9 | 60 | 69.1 | 66.4 | 66.8 | 34.4 |
| 14:00 | 34.2 | 26.4 | 38.5 | 53.6 | 67.9 | 65.1 | 64.3 | 32 |

Tabel 3.10 Data pengamatan untuk pipa paralel, Sabtu 17 April 2004

| WAKTU | SUHU (°C) | | | | | | | |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T~ |
| 9.00 | 38.7 | 32.2 | 26.3 | 51.6 | 49.3 | 46.1 | 43.8 | 30.8 |
| 9.30 | 40.9 | 24.9 | 27.7 | 26.3 | 53 | 51.7 | 46.8 | 34 |
| 10.00 | 48.4 | 27.9 | 32.8 | 58.7 | 57.6 | 56.2 | 54.1 | 34.1 |
| 10.30 | 49.1 | 26.2 | 32.2 | 65.2 | 59.9 | 56.8 | 54.5 | 34.1 |
| 11.00 | 49.7 | 26.7 | 34 | 67.6 | 64.7 | 63.6 | 57.6 | 34.2 |
| 11.30 | 54.8 | 26.7 | 36.5 | 68.1 | 67.5 | 67.2 | 64.3 | 35.6 |
| 12.00 | 53.5 | 24.9 | 36.3 | 79 | 69.1 | 64.3 | 64.1 | 34.4 |
| 12.30 | 47 | 23.7 | 40.1 | 81 | 71.8 | 63.8 | 63.2 | 34 |

| | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13.00 | 47 | 26.1 | 41.8 | 79.5 | 74 | 64.3 | 62.4 | 32.1 |
| 13.30 | 37 | 24.9 | 35.7 | 45 | 74.3 | 66.6 | 62.9 | 32.5 |
| 14.00 | 31.5 | 26.9 | 35.6 | 37.3 | 72.8 | 64.3 | 57.8 | 31.3 |

Dengan: T1= Temperatur air masuk

T2= Temperatur kaca

T3= Temperatur pelat

T4= Temperatur air keluar

T5= Temperatur air tangki bag. atas

T6= Temperatur air tangki bag. tengah

T7= Temperatur air tangki bag. bawah

T~= Temperatur lingkungan

Selain data hasil pengujian diatas, juga diperoleh data tambahan yang diperlukan untuk menganalisa data hasil pengujian :

Kolektor :

| | | |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Panjang kolektor | : 1 | m |
| Lebar kolektor s | : 0,5 | m |
| Diameter luar pipa d_i | : $13 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Diameter dalam pipa d | : $11 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Tebal pelat δ | : $0,8 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Sela antara pipa seri s | : $80 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Sela antara pipa paralel s | : $110 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Konduktivitas pipa tembaga | : 358 | W/m.K |
| Tebal perekat l | : $1 \cdot 10^{-3}$ | m |
| Panjang perekat b | : 4,46 | m |
| Panas jenis fluida C_p | : 4174 | Kj/kg. $^{\circ}$ C |
| Sudut kolektor β | : 30° | |

Kaca

| | | |
|---------------------------|--------|-------|
| Konduktivitas thermal k | : 1,05 | W/m.K |
|---------------------------|--------|-------|

| | |
|------------------------------|------------------------------|
| Tebal kaca | : $3 \cdot 10^{-3}$ m |
| Laju aliran massa fluida G | : 0,001 kg/m ² .s |
| Isolasi | |
| Konduktivitas thermal k | : 0.043 W/m.K |
| Tebal isolasi untuk kolektor | : $47 \cdot 10^{-3}$ m |
| Tebal isolasi untuk tangki | : $35 \cdot 10^{-3}$ m |

Untuk analisa data hasil pengujian berikut di ambil dari data pengujian pada hari sabtu untuk jam 12.00.

3.2. Koefisien kerugian panas total

3.2.1 Koefisien kerugian atas (U_L)

a. Pipa seri.

dari persamaan (2.06) diperoleh :

$$T_m = \frac{347.9 + 300.3}{2} = 324.1 \text{ K}$$

fungsi ϕ_1 diperoleh dengan persamaan (2.03) :

$$\phi_1 = \frac{137}{(324.1 + 200)^{1/3} \cdot 324.1^{1/2}} = 0.96$$

dari persamaan (2.04) diperoleh harga ϕ_2 :

$$\phi_2 = \frac{347.9 - 300.3}{50} = 0.95$$

ϕ_3 diperoleh dari persamaan (2.05) :

$$\phi_3 = \frac{1428 \cdot (324.1 + 200)^{2/3}}{324.1^2} = 0.88$$

h_i diperoleh dari Grafik 1 dengan terlebih dahulu menghitung :

$$z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 = (2,5) \cdot (0,95) \cdot (0,88) = 2,12$$

dari grafik 1 diperoleh harga $h_i/\phi_1 \cdot \phi_3 = 4,05$

$$h_i = 4,05 \cdot (0,96) \cdot (0,95) = 4,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

koefisien radiasi (ekivalen) dalam, h_{ri} diperoleh dengan persamaan (2.08) :

$$h_{ri} = \frac{(5,67 \times 10^{-8}) \cdot (347,9^4 - 300,3^4)}{\left(\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1 \right) (347,9 - 300,3)} = 0,76 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

koefisien konveksi luar h_o diperoleh dari persamaan (2.09) :

$$h_o = (5,7) + (3,8) \cdot (5,0) = 24,7 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

T_{langit} dicari dengan persamaan (2.11) :

$$T_{\text{langit}} = (0,0552) \cdot (307,4)^{2/3} = 297,5 \text{ K}$$

Koefisien radiasi dalam h_{ro} diperoleh dengan persamaan (2.10) :

$$h_{ro} = \frac{(0,88 \times 5,67 \times 10^{-8}) \cdot (300,3^4 - 297,5^4)}{300,3 - 297,5} = 5,33 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$$

sehingga dari persamaa (2.02) diperoleh U_t :

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{4,44 + 0,76} + \frac{0,003}{1,05} + \frac{1}{24,7 + 5,33}$$

$$U_t = 1,9 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

3.2.2 Koefisien kerugian bawah (U_b)

Koefisien kerugian bawah (U_b) diperoleh dari persamaan (2.12) :

$$U_b = \frac{1}{R} (\text{isolasi}) = \frac{0,043}{0,047} = 0,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

sehingga harga U_L dari persamaan (3.13) :

$$U_L = 1,9 + 0,91 = 2,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Untuk hasil selengkapnya ditunjukkan dalam tabel dengan perhitungan yang sama :

Tabel 3.11 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Selasa 13 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 293.5 | 327.2 | 305.2 | 294.3 | 27.4 | 5.07 | 2.55 | 0.67 | 0.91 | 2.71 | 3.62 |
| 09:30 | 297.0 | 330.5 | 306.0 | 295.5 | 27.4 | 5.19 | 2.51 | 0.69 | 0.91 | 2.69 | 3.60 |
| 10:00 | 297.2 | 336.6 | 307.7 | 297.9 | 27.4 | 5.26 | 2.82 | 0.71 | 0.91 | 2.92 | 3.83 |
| 10:30 | 298.0 | 342.2 | 309.9 | 301.1 | 27.4 | 5.37 | 3.04 | 0.74 | 0.91 | 3.09 | 4.00 |
| 11:00 | 296.6 | 341.1 | 310.9 | 302.6 | 27.4 | 5.37 | 3.07 | 0.73 | 0.91 | 3.10 | 4.01 |
| 11:30 | 296.0 | 345.4 | 312.2 | 304.5 | 27.4 | 5.40 | 3.31 | 0.74 | 0.91 | 3.27 | 4.18 |
| 12:00 | 303.1 | 340.2 | 310.4 | 301.9 | 27.4 | 5.52 | 2.64 | 0.75 | 0.91 | 2.82 | 3.73 |
| 12:30 | 301.6 | 342.6 | 310.2 | 301.6 | 27.4 | 5.47 | 2.85 | 0.75 | 0.91 | 2.97 | 3.88 |
| 13:00 | 304.1 | 339.3 | 309.2 | 300.1 | 27.4 | 5.50 | 2.53 | 0.75 | 0.91 | 2.75 | 3.66 |
| 13:30 | 298.4 | 329.8 | 307.7 | 297.9 | 27.4 | 5.29 | 2.38 | 0.70 | 0.91 | 2.60 | 3.51 |
| 14:00 | 303.8 | 328.2 | 306.3 | 295.9 | 27.4 | 5.38 | 1.93 | 0.71 | 0.91 | 2.28 | 3.19 |

Tabel 3.12 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Rabu 14 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 292.4 | 334.8 | 306.5 | 296.2 | 27.4 | 5.09 | 3.02 | 0.69 | 0.91 | 3.04 | 3.95 |
| 09:30 | 296.8 | 339.8 | 306.8 | 296.6 | 27.4 | 5.21 | 3.00 | 0.72 | 0.91 | 3.05 | 3.96 |
| 10:00 | 297.8 | 343.8 | 306.6 | 296.3 | 27.4 | 5.23 | 3.13 | 0.74 | 0.91 | 3.15 | 4.06 |
| 10:30 | 300.3 | 350.4 | 309.8 | 301.0 | 27.4 | 5.42 | 3.29 | 0.78 | 0.91 | 3.28 | 4.19 |
| 11:00 | 300.3 | 357.4 | 311.0 | 302.7 | 27.4 | 5.47 | 3.60 | 0.80 | 0.91 | 3.50 | 4.41 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11:30 | 300.0 | 359.1 | 311.2 | 303.0 | 27.4 | 5.47 | 3.69 | 0.81 | 0.91 | 3.55 | 4.46 |
| 12:00 | 297.2 | 356.2 | 310.0 | 301.3 | 27.4 | 5.35 | 3.73 | 0.79 | 0.91 | 3.56 | 4.47 |
| 12:30 | 294.9 | 357.9 | 309.0 | 299.8 | 27.4 | 5.25 | 3.93 | 0.79 | 0.91 | 3.69 | 4.60 |
| 13:00 | 294.4 | 355.4 | 306.2 | 295.8 | 27.4 | 5.13 | 3.85 | 0.77 | 0.91 | 3.63 | 4.54 |
| 13:30 | 301.1 | 350.7 | 308.1 | 298.5 | 27.4 | 5.38 | 3.26 | 0.78 | 0.91 | 3.26 | 4.17 |
| 14:00 | 301.4 | 326.2 | 308.0 | 298.4 | 27.4 | 5.38 | 1.98 | 0.69 | 0.91 | 2.31 | 3.22 |

Tabel 3.13 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Kamis 15 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_l (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 295.0 | 333.0 | 309.1 | 300.0 | 27.4 | 5.25 | 2.77 | 0.70 | 0.91 | 2.88 | 3.79 |
| 09:30 | 297.1 | 339.0 | 308.8 | 299.5 | 27.4 | 5.30 | 2.94 | 0.72 | 0.91 | 3.01 | 3.92 |
| 10:00 | 296.7 | 343.1 | 309.5 | 300.6 | 27.4 | 5.32 | 3.16 | 0.74 | 0.91 | 3.17 | 4.08 |
| 10:30 | 298.1 | 350.1 | 308.5 | 299.1 | 27.4 | 5.31 | 3.41 | 0.77 | 0.91 | 3.35 | 4.26 |
| 11:00 | 299.5 | 335.3 | 308.0 | 298.4 | 27.4 | 5.33 | 2.60 | 0.72 | 0.91 | 2.78 | 3.69 |
| 11:30 | 300.4 | 353.6 | 307.6 | 297.8 | 27.4 | 5.34 | 3.43 | 0.79 | 0.91 | 3.38 | 4.29 |
| 12:00 | 302.9 | 352.8 | 308.8 | 299.5 | 27.4 | 5.45 | 3.25 | 0.79 | 0.91 | 3.26 | 4.17 |
| 12:30 | 297.3 | 350.1 | 309.5 | 300.6 | 27.4 | 5.33 | 3.45 | 0.76 | 0.91 | 3.37 | 4.28 |
| 13:00 | 301.5 | 340.1 | 308.5 | 299.1 | 27.4 | 5.41 | 2.73 | 0.74 | 0.91 | 2.88 | 3.79 |
| 13:30 | 301.6 | 322.4 | 307.9 | 298.2 | 27.4 | 5.38 | 1.21 | 0.68 | 0.91 | 1.70 | 2.61 |
| 14:00 | 273.0 | 317.1 | 306.0 | 295.5 | 27.4 | 4.59 | 3.37 | 0.58 | 0.91 | 3.19 | 4.10 |

Tabel 3.14 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Jumat 16 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_l (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 296.1 | 335.5 | 306.9 | 296.8 | 27.4 | 5.20 | 2.83 | 0.71 | 0.91 | 2.92 | 3.83 |
| 09:30 | 295.0 | 338.8 | 306.2 | 295.8 | 28.4 | 5.14 | 3.06 | 0.72 | 0.91 | 3.10 | 4.01 |
| 10:00 | 296.0 | 340.2 | 308.4 | 299.0 | 29.4 | 5.25 | 3.07 | 0.72 | 0.91 | 3.12 | 4.03 |
| 10:30 | 300.0 | 345.4 | 311.2 | 303.0 | 30.4 | 5.47 | 3.08 | 0.76 | 0.91 | 3.15 | 4.06 |
| 11:00 | 301.1 | 349.5 | 306.9 | 296.8 | 31.4 | 5.33 | 3.21 | 0.77 | 0.91 | 3.26 | 4.17 |
| 11:30 | 301.1 | 351.9 | 308.9 | 299.7 | 32.4 | 5.41 | 3.31 | 0.78 | 0.91 | 3.34 | 4.25 |
| 12:00 | 302.8 | 351.9 | 311.0 | 302.7 | 33.4 | 5.54 | 3.22 | 0.79 | 0.91 | 3.29 | 4.20 |
| 12:30 | 299.5 | 351.8 | 309.5 | 300.6 | 34.4 | 5.39 | 3.41 | 0.78 | 0.91 | 3.42 | 4.33 |
| 13:00 | 300.2 | 349.4 | 306.5 | 296.2 | 35.4 | 5.29 | 3.25 | 0.77 | 0.91 | 3.31 | 4.22 |
| 13:30 | 300.3 | 340.1 | 307.4 | 297.5 | 36.4 | 5.33 | 2.80 | 0.74 | 0.91 | 2.98 | 3.89 |
| 14:00 | 273.0 | 327.8 | 305.0 | 294.0 | 37.4 | 4.55 | 3.91 | 0.61 | 0.91 | 3.66 | 4.57 |

Tabel 3.15 Harga U_L pipa seri dengan reflector, Sabtu 17 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_l (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 301.9 | 328.2 | 306.9 | 296.8 | 47.4 | 5.35 | 2.06 | 0.70 | 0.91 | 2.44 | 3.35 |
| 09:30 | 304.3 | 330.7 | 306.2 | 295.8 | 48.4 | 5.39 | 2.05 | 0.72 | 0.91 | 2.45 | 3.36 |
| 10:00 | 303.8 | 338.6 | 308.4 | 299.0 | 49.4 | 5.46 | 2.51 | 0.74 | 0.91 | 2.82 | 3.73 |
| 10:30 | 303.9 | 342.0 | 311.2 | 303.0 | 50.4 | 5.58 | 2.68 | 0.76 | 0.91 | 2.96 | 3.87 |
| 11:00 | 305.0 | 337.2 | 306.9 | 296.8 | 51.4 | 5.44 | 2.37 | 0.74 | 0.91 | 2.72 | 3.63 |
| 11:30 | 304.2 | 344.3 | 306.8 | 296.6 | 52.4 | 5.41 | 2.77 | 0.77 | 0.91 | 3.04 | 3.95 |
| 12:00 | 306.1 | 344.0 | 311.0 | 302.7 | 53.4 | 5.63 | 2.65 | 0.77 | 0.91 | 2.96 | 3.87 |
| 12:30 | 307.7 | 345.4 | 309.5 | 300.6 | 54.4 | 5.62 | 2.62 | 0.78 | 0.91 | 2.95 | 3.86 |
| 13:00 | 308.9 | 346.0 | 306.5 | 296.2 | 55.4 | 5.53 | 2.57 | 0.79 | 0.91 | 2.92 | 3.83 |
| 13:30 | 311.5 | 333.0 | 307.4 | 297.5 | 56.4 | 5.64 | 1.19 | 0.75 | 0.91 | 1.79 | 2.70 |
| 14:00 | 273.0 | 326.6 | 305.0 | 294.0 | 57.4 | 4.55 | 3.85 | 0.61 | 0.91 | 3.72 | 4.63 |

b. Pipa paralel.

$$\phi_1 = \frac{137}{(324.95 + 200)^{1/3} \cdot 324.95^{1/2}} = 0.96$$

$$\phi_2 = \frac{325 - 297,9}{50} = 1,082$$

$$\phi_3 = \frac{1428 \cdot (324.95 + 200)^{2/3}}{324.95^2} = 0.88$$

h_i diperoleh dari grafik dengan terlebih dahulu menghitung :

$$z \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 = (2,5) \cdot (0,95) \cdot (0,88) = 2,12$$

dari grafik.. diperoleh harga $h_i / \phi_1 \cdot \phi_3 = 4,05$

$$h_i = 4,05 \cdot (0,96) \cdot (0,95) = 4,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$h_{ri} = \frac{(5,67 \times 10^{-8}) \cdot (325^4 - 297,9^4)}{\left(\frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,88} - 1 \right) \cdot (325 - 297,9)} = 0,68 \text{ W/m.K}$$

$$h_o = (5,7) + (3,8) \cdot (5,0) = 24,7 \text{ W/m.K}$$

$$T_{\text{langit}} = (0,0552) \cdot (307,4)^{2/3} = 297,5 \text{ K}$$

h_{ro} diperoleh dengan persamaan:

$$h_{ro} = \frac{(0,88 \times 5,67 \times 10^{-8}) \cdot (297,9^4 - 297,5^4)}{297,9 - 297,5} = 5,26 \text{ W/m.K}$$

sehingga diperoleh persamaan U_i :

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{4,2144 + 0,68} + \frac{0,003}{1,05} + \frac{1}{24,7 + 5,26}$$

$$U_i = 4,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Koefisien kerugian bawah (U_b)

$$U_b = \frac{1}{R} (\text{isolasi}) = \frac{k}{i} = \frac{0,043}{0,047} = 0,91 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\text{sehingga harga } U_L = 4,15 + 0,91 = 5,06 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Untuk hasil selengkapnya ditunjukkan dalam tabel dengan perhitungan yang sama :

Tabel 3.16 Harga U_L pipa paralel dengan reflektor, Selasa 13 April 2004

| JAM | Tc (K) | Tp (K) | T~ (K) | T-LANGIT (K) | h _o (W/m ² K) | h _{ro} (W/m ² K) | h _i (W/m ² K) | h _{ri} (W/m ² K) | U _b (W/m ² K) | U _t (W/m ² K) | U _L (W/m ² K) |
|-------|--------|--------|--------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 09:00 | 299.5 | 319.8 | 305.2 | 294.32 | 27.4 | 5.22 | 1.20 | 0.67 | 0.91 | 1.68 | 2.59 |
| 09:30 | 300.9 | 326.1 | 306.0 | 295.48 | 27.4 | 5.29 | 2.00 | 0.69 | 0.91 | 2.32 | 3.23 |
| 10:00 | 304.1 | 332.2 | 307.7 | 297.94 | 27.4 | 5.44 | 2.14 | 0.72 | 0.91 | 2.45 | 3.36 |
| 10:30 | 306.4 | 337.8 | 309.9 | 301.14 | 27.4 | 5.59 | 2.31 | 0.75 | 0.91 | 2.59 | 3.50 |
| 11:00 | 309.1 | 338.5 | 310.8 | 302.45 | 27.4 | 5.71 | 2.18 | 0.76 | 0.91 | 2.50 | 3.41 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11:30 | 311.6 | 344.5 | 312.5 | 304.94 | 27.4 | 5.85 | 2.34 | 0.79 | 0.91 | 2.64 | 3.55 |
| 12:00 | 313.0 | 346.4 | 310.5 | 302.02 | 27.4 | 5.81 | 2.35 | 0.80 | 0.91 | 2.66 | 3.57 |
| 12:30 | 312.6 | 345.5 | 310.3 | 301.73 | 27.4 | 5.79 | 2.33 | 0.80 | 0.91 | 2.64 | 3.55 |
| 13:00 | 316.0 | 347.2 | 309.2 | 300.12 | 27.4 | 5.84 | 2.21 | 0.82 | 0.91 | 2.57 | 3.48 |
| 13:30 | 315.3 | 337.2 | 307.7 | 297.94 | 27.4 | 5.76 | 1.19 | 0.78 | 0.91 | 1.76 | 2.67 |
| 14:00 | 310.3 | 318.0 | 306.3 | 295.91 | 27.4 | 5.56 | 0.80 | 0.69 | 0.91 | 1.38 | 2.29 |

Tabel 3.17 Harga U_L pipa paralel dengan reflektor, Rabu 14 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 302.6 | 327.3 | 306.5 | 296.2 | 27.4 | 5.36 | 1.96 | 0.70 | 0.91 | 2.30 | 3.21 |
| 09:30 | 303.1 | 330.6 | 306.8 | 296.6 | 27.4 | 5.38 | 2.12 | 0.71 | 0.91 | 2.43 | 3.34 |
| 10:00 | 306 | 338.9 | 306.6 | 296.3 | 27.4 | 5.45 | 2.39 | 0.75 | 0.91 | 2.65 | 3.56 |
| 10:30 | 305.5 | 343.8 | 309.8 | 301.0 | 27.4 | 5.57 | 2.67 | 0.77 | 0.91 | 2.86 | 3.77 |
| 11:00 | 306.4 | 346.2 | 311 | 302.7 | 27.4 | 5.64 | 2.74 | 0.78 | 0.91 | 2.91 | 3.82 |
| 11:30 | 308.4 | 349.0 | 311.2 | 303.0 | 27.4 | 5.70 | 2.75 | 0.80 | 0.91 | 2.94 | 3.85 |
| 12:00 | 308.5 | 351.9 | 310 | 301.3 | 27.4 | 5.66 | 2.89 | 0.81 | 0.91 | 3.03 | 3.94 |
| 12:30 | 309.5 | 351.7 | 309 | 299.8 | 27.4 | 5.65 | 2.82 | 0.81 | 0.91 | 2.99 | 3.90 |
| 13:00 | 310.4 | 347.2 | 306.2 | 295.8 | 27.4 | 5.56 | 2.55 | 0.80 | 0.91 | 2.80 | 3.71 |
| 13:30 | 316.5 | 348.1 | 308.1 | 298.5 | 27.4 | 5.81 | 2.23 | 0.82 | 0.91 | 2.59 | 3.50 |
| 14:00 | 273 | 340.1 | 308 | 298.4 | 27.4 | 4.66 | 4.48 | 0.65 | 0.91 | 3.92 | 4.83 |

Tabel 3.18 Harga U_L pipa paralel dengan reflector, Kamis 15 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | T_{LANGIT} (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 299.4 | 319.7 | 309.1 | 300.0 | 27.4 | 5.37 | 1.20 | 0.66 | 0.91 | 1.68 | 2.59 |
| 09:30 | 302.8 | 324.2 | 308.8 | 299.5 | 27.4 | 5.45 | 1.23 | 0.69 | 0.91 | 1.72 | 2.63 |
| 10:00 | 306.7 | 334.3 | 309.5 | 300.6 | 27.4 | 5.59 | 2.10 | 0.74 | 0.91 | 2.43 | 3.34 |
| 10:30 | 305.9 | 336.8 | 308.5 | 299.1 | 27.4 | 5.53 | 2.28 | 0.74 | 0.91 | 2.57 | 3.48 |
| 11:00 | 308.1 | 340.3 | 308.0 | 298.4 | 27.4 | 5.57 | 2.34 | 0.76 | 0.91 | 2.62 | 3.53 |
| 11:30 | 307.5 | 345.2 | 307.6 | 297.8 | 27.4 | 5.53 | 2.62 | 0.78 | 0.91 | 2.83 | 3.74 |
| 12:00 | 310.1 | 354.4 | 308.8 | 299.5 | 27.4 | 5.65 | 2.91 | 0.82 | 0.91 | 3.06 | 3.97 |
| 12:30 | 311.6 | 353.2 | 309.5 | 300.6 | 27.4 | 5.72 | 2.77 | 0.83 | 0.91 | 2.97 | 3.88 |
| 13:00 | 311.9 | 350.1 | 308.5 | 299.1 | 27.4 | 5.69 | 2.60 | 0.81 | 0.91 | 2.84 | 3.75 |
| 13:30 | 319.2 | 335.0 | 307.9 | 298.2 | 27.4 | 5.88 | 1.08 | 0.78 | 0.91 | 1.68 | 2.59 |
| 14:00 | 273.0 | 329.2 | 306.0 | 295.5 | 27.4 | 4.59 | 3.98 | 0.62 | 0.91 | 3.60 | 4.51 |

Tabel 3.19 Harga U_L pipa paralel dengan reflector, Jumat 16 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | $T_{\text{-LANGIT}}$ (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 296.1 | 335.5 | 306.9 | 296.8 | 37.4 | 5.20 | 2.83 | 0.71 | 0.91 | 2.98 | 3.89 |
| 09:30 | 295.0 | 338.8 | 306.2 | 295.8 | 38.4 | 5.14 | 3.06 | 0.72 | 0.91 | 3.16 | 4.07 |
| 10:00 | 296.0 | 340.2 | 308.4 | 299.0 | 39.4 | 5.25 | 3.07 | 0.72 | 0.91 | 3.18 | 4.09 |
| 10:30 | 300.0 | 345.4 | 311.2 | 303.0 | 40.4 | 5.47 | 3.08 | 0.76 | 0.91 | 3.21 | 4.12 |
| 11:00 | 301.1 | 349.5 | 306.9 | 296.8 | 41.4 | 5.33 | 3.21 | 0.77 | 0.91 | 3.32 | 4.23 |
| 11:30 | 301.1 | 351.9 | 308.9 | 299.7 | 42.4 | 5.41 | 3.31 | 0.78 | 0.91 | 3.40 | 4.31 |
| 12:00 | 302.8 | 351.9 | 311.0 | 302.7 | 43.4 | 5.54 | 3.22 | 0.79 | 0.91 | 3.35 | 4.26 |
| 12:30 | 299.5 | 351.8 | 309.5 | 300.6 | 44.4 | 5.39 | 3.41 | 0.78 | 0.91 | 3.48 | 4.39 |
| 13:00 | 300.2 | 349.4 | 306.5 | 296.2 | 45.4 | 5.29 | 3.25 | 0.77 | 0.91 | 3.37 | 4.28 |
| 13:30 | 300.3 | 340.1 | 307.4 | 297.5 | 46.4 | 5.33 | 2.80 | 0.74 | 0.91 | 3.02 | 3.93 |
| 14:00 | 273.0 | 327.8 | 305.0 | 294.0 | 47.4 | 4.55 | 3.91 | 0.61 | 0.91 | 3.72 | 4.63 |

Tabel 3.20 Harga U_L pipa paralel dengan reflector, Sabtu 17 April 2004

| JAM | T_c (K) | T_p (K) | T_{\sim} (K) | $T_{\text{-LANGIT}}$ (K) | h_o (W/m ² K) | h_{ro} (W/m ² K) | h_i (W/m ² K) | h_{ri} (W/m ² K) | U_b (W/m ² K) | U_t (W/m ² K) | U_L (W/m ² K) |
|-------|--------------|--------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 09:00 | 298.2 | 329.4 | 303.8 | 292.3 | 47.4 | 5.14 | 2.37 | 0.69 | 0.91 | 2.67 | 3.58 |
| 09:30 | 297.6 | 338.7 | 307.0 | 296.9 | 48.4 | 5.24 | 2.90 | 0.72 | 0.91 | 3.09 | 4.00 |
| 10:00 | 299.0 | 340.6 | 307.1 | 297.1 | 49.4 | 5.28 | 2.90 | 0.73 | 0.91 | 3.11 | 4.02 |
| 10:30 | 299.2 | 344.2 | 307.1 | 297.1 | 50.4 | 5.29 | 3.07 | 0.75 | 0.91 | 3.24 | 4.15 |
| 11:00 | 298.4 | 345.6 | 307.2 | 297.2 | 51.4 | 5.27 | 3.19 | 0.75 | 0.91 | 3.33 | 4.24 |
| 11:30 | 300.3 | 347.8 | 308.6 | 299.2 | 52.4 | 5.38 | 3.17 | 0.77 | 0.91 | 3.34 | 4.25 |
| 12:00 | 298.0 | 347.9 | 307.4 | 297.5 | 53.4 | 5.27 | 3.31 | 0.76 | 0.91 | 3.43 | 4.34 |
| 12:30 | 302.6 | 348.0 | 307.0 | 296.9 | 54.4 | 5.38 | 3.05 | 0.77 | 0.91 | 3.26 | 4.17 |
| 13:00 | 300.2 | 345.8 | 305.1 | 294.2 | 55.4 | 5.24 | 3.09 | 0.76 | 0.91 | 3.28 | 4.19 |
| 13:30 | 300.1 | 315.8 | 305.5 | 294.8 | 56.4 | 5.25 | 1.10 | 0.65 | 0.91 | 1.63 | 2.54 |
| 14:00 | 273.0 | 310.3 | 304.3 | 293.0 | 57.4 | 4.53 | 2.99 | 0.56 | 0.91 | 3.06 | 3.97 |

3.3 Efisiensi sirip (F)

a. Pipa seri

dari persamaan (2.01) diperoleh harga efisiensi sirip F :

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{2.8}{385 \cdot (0.8 \times 10^{-3})} \cdot \left(\frac{110 - 13}{2 \times 10^3} \right)} \right]}{\left[\sqrt{\frac{2.8}{385 \cdot (0.8 \times 10^{-3})} \cdot \left(\frac{110 - 13}{2 \times 10^3} \right)} \right]} = 0,992$$

a. Pipa paralel

$$F = \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{5.06}{385 \cdot (0.8 \times 10^{-3})} \cdot \left(\frac{80 - 13}{2 \times 10^3} \right)} \right]}{\left[\sqrt{\frac{2.8}{385 \cdot (0.8 \times 10^{-3})} \cdot \left(\frac{80 - 13}{2 \times 10^3} \right)} \right]} = 0.993$$

3.4 Koefisien Konduktivitas Fluida (h)

a. pipa seri

Dari persamaan (2.19) diperoleh besarnya Bilangan Reynold :

$$Re = \frac{4 \times 2,7 \cdot 10^{-3}}{\pi \times (11 \cdot 10^{-3}) \times (4,3 \cdot 10^{-4})} = 727,16$$

Bilangan Prandtl dicari dari persamaan (2.20) :

$$Pr = \frac{4191 \times (4,3 \cdot 10^{-4})}{0,668} = 2,69$$

Nu diperoleh dari Grafik 2 dengan terlebih dahulu menghitung :

$$Re \cdot Pr \cdot \frac{d_i}{L} = (727,16 \times 2,3 \times \frac{11 \cdot 10^{-3}}{1}) = 18,67$$

Sehingga diperoleh harga $N_u = 4,6$

Dari persamaan (2.18) diperoleh besarnya koefisien konveksi fluida :

$$h = 4,6 \cdot \frac{0,668}{11 \cdot 10^{-3}} = 279,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

b. pipa pararel

pada pipa pararel laju aliran massa perpipa $(2,7 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s})/5 \text{ pipa} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$.

$$Re = \frac{4x(2,7 \cdot 10^{-3} / 5)}{\pi(11 \cdot 10^{-3})x(3,72 \cdot 10^{-4})} = 172,9 \approx 173$$

$$Pr = \frac{4197x(3,72 \cdot 10^{-4})}{0,666} = 2,34$$

$$Re.Pr. \frac{d_i}{L} = (154,43x2,70x \frac{11 \cdot 10^{-3}}{1}) = 0,99 \approx 1$$

diperoleh harga $N_u = 3,85$

$$h = 3,85 \frac{0,668}{11 \cdot 10^{-3}} = 230 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

3.5 Faktor efisiensi (F')

a. Pipa seri

Factor efisiensi F' dicari dari persamaan (2.21) diperoleh :

$$F' = \frac{1}{3,87} \cdot \left[\frac{1}{(3,87) \cdot \{(0,11 - 0,013)\} (0,992) + (0,013)} + \frac{1}{50x4,46} + \frac{1}{(279,35) \cdot \pi(0,011)} \right]$$

$$F' = 0,71$$

b. Pipa paralel

$$F' = \frac{1}{4,43} \cdot \left[\frac{1}{(4,43) \cdot \{0,8 - 0,013\} \cdot (0,993) + (0,013)} + \frac{1}{\frac{50,4,46}{0,001}} + \frac{1}{(233,80) \cdot 0,011} \right]$$

$$F' = 0,79$$

3.6 Faktor pelepasan panas (F_R)

a. pipa seri

dari persamaan (2.21) diperoleh factor pelepasan panas :

$$F_R = \frac{(0,001) \cdot (4174)}{3,87} \left[1 - \exp - \left(\frac{(3,87) \cdot (0,23)}{(0,001) \cdot (4174)} \right) \right] = 0,65$$

b. pipa paralel

$$F_R = \frac{(0,001) \cdot (4174)}{4,34} \left[1 - \exp - \left(\frac{(4,34) \cdot (0,21)}{(0,001) \cdot (4174)} \right) \right] = 0,62$$

Untuk hasil perhitungan F , F' , F_R selengkapnya ditunjukkan dalam table

dengan perhitungan yang sama :

a. pipa seri

Tabel 3.21 Harga F, F', F_R pipa seri, Selasa 13 April 2004

| JAM | T _i | T _~ | U _L | F | F' | F _R |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|----------------|
| 09:00 | 327.2 | 305.2 | 3.62 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 09:30 | 330.5 | 306 | 3.60 | 0.99 | 0.72 | 0.67 |
| 10:00 | 336.6 | 307.7 | 3.83 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 10:30 | 342.2 | 309.9 | 4.00 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 11:00 | 341.1 | 310.9 | 4.01 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 11:30 | 345.4 | 312.2 | 4.18 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 12:00 | 340.2 | 310.4 | 3.73 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 12:30 | 342.6 | 310.2 | 3.88 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 13:00 | 339.3 | 309.2 | 3.66 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 13:30 | 329.8 | 307.7 | 3.51 | 0.99 | 0.73 | 0.67 |
| 14:00 | 328.2 | 306.3 | 3.19 | 0.99 | 0.75 | 0.70 |

Tabel 3.22 Harga F, F', F_R pipa seri, Rabu 14 April 2004

| JAM | T _i | T _~ | U _L | F | F' | Fr |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|
| 09:00 | 334.8 | 306.5 | 3.95 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 09:30 | 339.8 | 306.8 | 3.96 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 10:00 | 343.8 | 306.6 | 4.06 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 10:30 | 350.4 | 309.8 | 4.19 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 11:00 | 357.4 | 311 | 4.41 | 0.99 | 0.68 | 0.61 |
| 11:30 | 359.1 | 311.2 | 4.46 | 0.99 | 0.68 | 0.61 |
| 12:00 | 356.2 | 310 | 4.47 | 0.99 | 0.68 | 0.61 |
| 12:30 | 357.9 | 309 | 4.60 | 0.99 | 0.67 | 0.60 |
| 13:00 | 355.4 | 306.2 | 4.54 | 0.99 | 0.67 | 0.61 |
| 13:30 | 350.7 | 308.1 | 4.17 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 14:00 | 326.2 | 308 | 3.22 | 0.99 | 0.75 | 0.69 |

Tabel 3.23 Harga F, F', F_R pipa seri, Kamis 15 april 2004

| JAM | T _i | T | U _L | F | F' | Fr |
|-------|----------------|-------|----------------|------|------|------|
| 09:00 | 333.0 | 309.1 | 3.79 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 09:30 | 339.0 | 308.8 | 3.92 | 0.99 | 0.71 | 0.64 |
| 10:00 | 343.1 | 309.5 | 4.08 | 0.99 | 0.70 | 0.63 |
| 10:30 | 350.1 | 308.5 | 4.26 | 0.99 | 0.69 | 0.62 |
| 11:00 | 335.3 | 308.0 | 3.69 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 11:30 | 353.6 | 307.6 | 4.29 | 0.99 | 0.69 | 0.62 |
| 12:00 | 352.8 | 308.8 | 4.17 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 12:30 | 350.1 | 309.5 | 4.28 | 0.99 | 0.69 | 0.62 |
| 13:00 | 340.1 | 308.5 | 3.79 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 13:30 | 322.4 | 307.9 | 2.61 | 0.99 | 0.78 | 0.74 |
| 14:00 | 317.1 | 306.0 | 4.10 | 0.99 | 0.70 | 0.63 |

Tabel 3.24 Harga F, F', F_R pipa seri, Jumat 16 april 2004

| JAM | T _i | T _~ | U _L | F | F' | Fr |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|
| 09:00 | 335.5 | 306.9 | 3.83 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 09:30 | 338.8 | 306.2 | 4.01 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 10:00 | 340.2 | 308.4 | 4.03 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 10:30 | 345.4 | 311.2 | 4.06 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 11:00 | 349.5 | 306.9 | 4.17 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 11:30 | 351.9 | 308.9 | 4.25 | 0.99 | 0.69 | 0.62 |
| 12:00 | 351.9 | 311.0 | 4.20 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 12:30 | 351.8 | 309.5 | 4.33 | 0.99 | 0.68 | 0.62 |
| 13:00 | 349.4 | 306.5 | 4.22 | 0.99 | 0.69 | 0.63 |
| 13:30 | 340.1 | 307.4 | 3.89 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 14:00 | 327.8 | 305.0 | 4.57 | 0.99 | 0.67 | 0.60 |

Tabel 3.25 Harga F, F', F_R pipa seri, Sabtu 17 april 2004

| JAM | T _i | T _~ | U _L | F | F' | Fr |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|
| 09:00 | 328.2 | 306.9 | 3.35 | 0.99 | 0.74 | 0.68 |
| 09:30 | 330.7 | 306.2 | 3.36 | 0.99 | 0.74 | 0.68 |
| 10:00 | 338.6 | 308.4 | 3.73 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 10:30 | 342.0 | 311.2 | 3.87 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 11:00 | 337.2 | 306.9 | 3.63 | 0.99 | 0.72 | 0.66 |
| 11:30 | 344.3 | 306.8 | 3.95 | 0.99 | 0.70 | 0.64 |
| 12:00 | 344.0 | 311.0 | 3.87 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 12:30 | 345.4 | 309.5 | 3.86 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 13:00 | 346.0 | 306.5 | 3.83 | 0.99 | 0.71 | 0.65 |
| 13:30 | 333.0 | 307.4 | 2.70 | 0.99 | 0.78 | 0.73 |
| 14:00 | 326.6 | 305.0 | 4.63 | 0.99 | 0.67 | 0.60 |

b. pipa paralel

Tabel 3.26 Harga F, F', F_R pipa paralel, Selasa 13 April 2004

| JAM | T _i | T _~ | U _L | F | F' | F _R |
|-------|----------------|----------------|----------------|------|------|----------------|
| 09:00 | 319.8 | 305.2 | 3.62 | 0.99 | 0.84 | 0.66 |

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 09:30 | 326.1 | 306 | 4.62 | 0.99 | 0.76 | 0.60 |
| 10:00 | 332.2 | 307.7 | 5.62 | 0.99 | 0.69 | 0.55 |
| 10:30 | 337.8 | 309.9 | 6.62 | 0.98 | 0.64 | 0.50 |
| 11:00 | 338.5 | 310.8 | 7.62 | 0.98 | 0.59 | 0.46 |
| 11:30 | 344.5 | 312.5 | 8.62 | 0.98 | 0.55 | 0.42 |
| 12:00 | 346.4 | 310.5 | 9.62 | 0.98 | 0.51 | 0.39 |
| 12:30 | 345.5 | 310.3 | 10.62 | 0.97 | 0.48 | 0.36 |
| 13:00 | 347.2 | 309.2 | 11.62 | 0.97 | 0.45 | 0.34 |
| 13:30 | 337.2 | 307.7 | 12.62 | 0.97 | 0.43 | 0.31 |
| 14:00 | 318.0 | 306.3 | 13.62 | 0.97 | 0.41 | 0.29 |

Tabel 3.27 Harga F , F' , F_R pipa paralel, Rabu 14 april 2004

| JAM | T_i | T_{\sim} | U_L | F | F' | F_r |
|-------|-------|------------|-------|------|------|-------|
| 09:00 | 333.0 | 306.5 | 3.79 | 0.99 | 0.83 | 0.65 |
| 09:30 | 339.0 | 306.8 | 3.92 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |
| 10:00 | 343.1 | 306.6 | 4.08 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |
| 10:30 | 350.1 | 309.8 | 4.26 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 11:00 | 335.3 | 311.0 | 3.69 | 0.99 | 0.83 | 0.66 |
| 11:30 | 353.6 | 311.2 | 4.29 | 0.99 | 0.78 | 0.62 |
| 12:00 | 352.8 | 310.0 | 4.17 | 0.99 | 0.79 | 0.63 |
| 12:30 | 350.1 | 309.0 | 4.28 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 13:00 | 340.1 | 306.2 | 3.79 | 0.99 | 0.83 | 0.65 |
| 13:30 | 322.4 | 308.1 | 2.61 | 0.99 | 0.94 | 0.74 |
| 14:00 | 317.1 | 308.0 | 4.10 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |

Tabel 3.28 Harga F , F' , F_R pipa paralel, Kamis 15 april 2004

| JAM | T_i | T_{\sim} | U_L | F | F' | F_r |
|-------|-------|------------|-------|------|------|-------|
| 09:00 | 319.7 | 309.1 | 2.59 | 0.99 | 0.95 | 0.74 |
| 09:30 | 324.2 | 308.8 | 2.63 | 0.99 | 0.94 | 0.74 |
| 10:00 | 334.3 | 309.5 | 3.34 | 0.99 | 0.87 | 0.68 |
| 10:30 | 336.8 | 308.5 | 3.48 | 0.99 | 0.85 | 0.67 |
| 11:00 | 340.3 | 308.0 | 3.53 | 0.99 | 0.85 | 0.67 |
| 11:30 | 345.2 | 307.6 | 3.74 | 0.99 | 0.83 | 0.66 |
| 12:00 | 354.4 | 308.8 | 3.97 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |
| 12:30 | 353.2 | 309.5 | 3.88 | 0.99 | 0.82 | 0.65 |
| 13:00 | 350.1 | 308.5 | 3.75 | 0.99 | 0.83 | 0.66 |
| 13:30 | 335.0 | 307.9 | 2.59 | 0.99 | 0.95 | 0.74 |
| 14:00 | 329.2 | 306.0 | 4.51 | 0.99 | 0.77 | 0.61 |

Tabel 3.29 Harga F, F', F_R pipa paralel, Jumat 16 april 2004

| JAM | Ti | T~ | UL | F | F' | Fr |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 09:00 | 335.5 | 306.9 | 3.89 | 0.99 | 0.82 | 0.65 |
| 09:30 | 338.8 | 306.2 | 4.07 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |
| 10:00 | 340.2 | 308.4 | 4.09 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |
| 10:30 | 345.4 | 311.2 | 4.12 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |
| 11:00 | 349.5 | 306.9 | 4.23 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 11:30 | 351.9 | 308.9 | 4.31 | 0.99 | 0.78 | 0.62 |
| 12:00 | 351.9 | 311.0 | 4.26 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 12:30 | 351.8 | 309.5 | 4.39 | 0.99 | 0.78 | 0.61 |
| 13:00 | 349.4 | 306.5 | 4.28 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 13:30 | 340.1 | 307.4 | 3.93 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |
| 14:00 | 327.8 | 305.0 | 4.63 | 0.99 | 0.76 | 0.60 |

Tabel 3.30 Harga F, F', F_R pipa paralel, Sabtu 17 april 2004

| JAM | Ti | T~ | UL | F | F' | Fr |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 09:00 | 329.4 | 303.8 | 3.58 | 0.99 | 0.84 | 0.67 |
| 09:30 | 338.7 | 307.0 | 4.00 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |
| 10:00 | 340.6 | 307.1 | 4.02 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |
| 10:30 | 344.2 | 307.1 | 4.15 | 0.99 | 0.80 | 0.63 |
| 11:00 | 345.6 | 307.2 | 4.24 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 11:30 | 347.8 | 308.6 | 4.25 | 0.99 | 0.79 | 0.62 |
| 12:00 | 347.9 | 307.4 | 4.34 | 0.99 | 0.78 | 0.62 |
| 12:30 | 348.0 | 307.0 | 4.17 | 0.99 | 0.79 | 0.63 |
| 13:00 | 345.8 | 305.1 | 4.19 | 0.99 | 0.79 | 0.63 |
| 13:30 | 315.8 | 305.5 | 2.54 | 0.99 | 0.95 | 0.75 |
| 14:00 | 310.3 | 304.3 | 3.97 | 0.99 | 0.81 | 0.64 |

3.7 Persamaan Efisiensi Thermal (η)

a. pipa seri

dari persamaan (2.22) diperoleh harga efisiensi thermal :

$$\eta = (0,62) \cdot (0,84) - (0,62) \cdot (4,26) \left(\frac{74,9 - 34,4}{700} \right) = 0.373$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan dalam table dengan perhitungan yang sama :

Tabel 3.31 Harga peramaan efisiensi thermal pipa seri, Selasa 13 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 327.2 | 305.2 | 3.62 | 0.66 | -2.41 | 0.56 | 0.077 | 0.372 |
| 09:30 | 330.5 | 306.0 | 3.60 | 0.67 | -2.40 | 0.56 | 0.082 | 0.363 |
| 10:00 | 336.6 | 307.7 | 3.83 | 0.65 | -2.49 | 0.55 | 0.091 | 0.320 |
| 10:30 | 342.2 | 309.9 | 4.00 | 0.64 | -2.56 | 0.54 | 0.099 | 0.284 |
| 11:00 | 341.1 | 310.9 | 4.01 | 0.64 | -2.56 | 0.54 | 0.097 | 0.287 |
| 11:30 | 345.4 | 312.2 | 4.18 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.103 | 0.256 |
| 12:00 | 340.2 | 310.4 | 3.73 | 0.66 | -2.45 | 0.55 | 0.096 | 0.317 |
| 12:30 | 342.6 | 310.2 | 3.88 | 0.65 | -2.51 | 0.54 | 0.099 | 0.294 |
| 13:00 | 339.3 | 309.2 | 3.66 | 0.66 | -2.42 | 0.56 | 0.095 | 0.327 |
| 13:30 | 329.8 | 307.7 | 3.51 | 0.67 | -2.36 | 0.56 | 0.081 | 0.373 |
| 14:00 | 328.2 | 306.3 | 3.19 | 0.70 | -2.22 | 0.58 | 0.079 | 0.409 |

Tabel 3.32 Harga peramaan efisiensi thermal pipa seri, Rabu 14 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 334.8 | 306.5 | 3.95 | 0.64 | -2.54 | 0.54 | 0.040 | 0.437 |
| 09:30 | 339.8 | 306.8 | 3.96 | 0.64 | -2.54 | 0.54 | 0.047 | 0.419 |
| 10:00 | 343.8 | 306.6 | 4.06 | 0.64 | -2.58 | 0.53 | 0.053 | 0.397 |
| 10:30 | 350.4 | 309.8 | 4.19 | 0.63 | -2.63 | 0.53 | 0.058 | 0.374 |
| 11:00 | 357.4 | 311.0 | 4.41 | 0.61 | -2.71 | 0.52 | 0.066 | 0.336 |
| 11:30 | 359.1 | 311.2 | 4.46 | 0.61 | -2.72 | 0.51 | 0.068 | 0.327 |
| 12:00 | 356.2 | 310.0 | 4.47 | 0.61 | -2.73 | 0.51 | 0.066 | 0.332 |
| 12:30 | 357.9 | 309.0 | 4.60 | 0.60 | -2.77 | 0.51 | 0.070 | 0.312 |
| 13:00 | 355.4 | 306.2 | 4.54 | 0.61 | -2.75 | 0.51 | 0.070 | 0.316 |
| 13:30 | 350.7 | 308.1 | 4.17 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.061 | 0.368 |
| 14:00 | 326.2 | 308.0 | 3.22 | 0.69 | -2.23 | 0.58 | 0.026 | 0.524 |

Tabel 3.33 Harga peramaan efisiensi thermal pipa seri, Kamis 16 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 333.0 | 309.1 | 3.79 | 0.65 | -2.48 | 0.55 | 0.034 | 0.464 |
| 09:30 | 339.0 | 308.8 | 3.92 | 0.64 | -2.53 | 0.54 | 0.043 | 0.432 |
| 10:00 | 343.1 | 309.5 | 4.08 | 0.63 | -2.59 | 0.53 | 0.048 | 0.409 |
| 10:30 | 350.1 | 308.5 | 4.26 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.059 | 0.365 |
| 11:00 | 335.3 | 308.0 | 3.69 | 0.66 | -2.44 | 0.55 | 0.039 | 0.459 |
| 11:30 | 353.6 | 307.6 | 4.29 | 0.62 | -2.66 | 0.52 | 0.066 | 0.347 |
| 12:00 | 352.8 | 308.8 | 4.17 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.063 | 0.363 |
| 12:30 | 350.1 | 309.5 | 4.28 | 0.62 | -2.66 | 0.52 | 0.058 | 0.368 |
| 13:00 | 340.1 | 308.5 | 3.79 | 0.65 | -2.48 | 0.55 | 0.045 | 0.437 |
| 13:30 | 322.4 | 307.9 | 2.61 | 0.74 | -1.93 | 0.62 | 0.021 | 0.582 |
| 14:00 | 317.1 | 306.0 | 4.10 | 0.63 | -2.60 | 0.53 | 0.016 | 0.491 |

Tabel 3.34 Harga peramaan efisiensi thermal pipa seri, Jumat 16 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 335.5 | 306.9 | 3.83 | 0.65 | -2.49 | 0.55 | 0.041 | 0.445 |
| 09:30 | 338.8 | 306.2 | 4.01 | 0.64 | -2.56 | 0.54 | 0.047 | 0.417 |
| 10:00 | 340.2 | 308.4 | 4.03 | 0.64 | -2.57 | 0.54 | 0.045 | 0.419 |
| 10:30 | 345.4 | 311.2 | 4.06 | 0.64 | -2.58 | 0.53 | 0.049 | 0.408 |
| 11:00 | 349.5 | 306.9 | 4.17 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.061 | 0.368 |
| 11:30 | 351.9 | 308.9 | 4.25 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.061 | 0.361 |
| 12:00 | 351.9 | 311.0 | 4.20 | 0.63 | -2.63 | 0.53 | 0.058 | 0.373 |
| 12:30 | 351.8 | 309.5 | 4.33 | 0.62 | -2.68 | 0.52 | 0.060 | 0.358 |
| 13:00 | 349.4 | 306.5 | 4.22 | 0.63 | -2.64 | 0.53 | 0.061 | 0.364 |
| 13:30 | 340.1 | 307.4 | 3.89 | 0.65 | -2.52 | 0.54 | 0.047 | 0.426 |
| 14:00 | 327.8 | 305.0 | 4.57 | 0.60 | -2.76 | 0.51 | 0.033 | 0.417 |

Tabel 3.35 Harga peramaan efisiensi thermal pipa seri, Sabtu 17 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 328.2 | 306.9 | 3.35 | 0.68 | -2.29 | 0.57 | 0.030 | 0.505 |
| 09:30 | 330.7 | 306.2 | 3.36 | 0.68 | -2.30 | 0.57 | 0.035 | 0.493 |
| 10:00 | 338.6 | 308.4 | 3.73 | 0.66 | -2.45 | 0.55 | 0.043 | 0.446 |
| 10:30 | 342.0 | 311.2 | 3.87 | 0.65 | -2.51 | 0.54 | 0.044 | 0.434 |
| 11:00 | 337.2 | 306.9 | 3.63 | 0.66 | -2.41 | 0.56 | 0.043 | 0.454 |
| 11:30 | 344.3 | 306.8 | 3.95 | 0.64 | -2.54 | 0.54 | 0.054 | 0.404 |
| 12:00 | 344.0 | 311.0 | 3.87 | 0.65 | -2.51 | 0.54 | 0.047 | 0.426 |
| 12:30 | 345.4 | 309.5 | 3.86 | 0.65 | -2.50 | 0.54 | 0.051 | 0.416 |
| 13:00 | 346.0 | 306.5 | 3.83 | 0.65 | -2.49 | 0.55 | 0.056 | 0.406 |
| 13:30 | 333.0 | 307.4 | 2.70 | 0.73 | -1.98 | 0.62 | 0.037 | 0.543 |
| 14:00 | 326.6 | 305.0 | 4.63 | 0.60 | -2.78 | 0.50 | 0.031 | 0.419 |

b. pipa paralel

$$\eta = (0,62) \cdot (0,84) - (0,62) \cdot (4,37) \left(\frac{79 - 34,4}{700} \right) = 0.352$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan dalam table dengan perhitungan yang sama :

Tabel 3.36 Harga peramaan efisiensi thermal paralel , Selasa 13 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 319.8 | 305.2 | 3.62 | 0.66 | -2.41 | 0.56 | 0.021 | 0.508 |

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 09:30 | 326.1 | 306.0 | 4.62 | 0.60 | -2.78 | 0.50 | 0.029 | 0.425 |
| 10:00 | 332.2 | 307.7 | 5.62 | 0.55 | -3.07 | 0.46 | 0.035 | 0.351 |
| 10:30 | 337.8 | 309.9 | 6.62 | 0.50 | -3.30 | 0.42 | 0.040 | 0.287 |
| 11:00 | 338.5 | 310.8 | 7.62 | 0.46 | -3.48 | 0.38 | 0.040 | 0.246 |
| 11:30 | 344.5 | 312.5 | 8.62 | 0.42 | -3.62 | 0.35 | 0.046 | 0.187 |
| 12:00 | 346.4 | 310.5 | 9.62 | 0.39 | -3.73 | 0.33 | 0.051 | 0.135 |
| 12:30 | 345.5 | 310.3 | 10.62 | 0.36 | -3.82 | 0.30 | 0.050 | 0.110 |
| 13:00 | 347.2 | 309.2 | 11.62 | 0.34 | -3.89 | 0.28 | 0.054 | 0.070 |
| 13:30 | 337.2 | 307.7 | 12.62 | 0.31 | -3.95 | 0.26 | 0.042 | 0.096 |
| 14:00 | 318.0 | 306.3 | 13.62 | 0.29 | -4.00 | 0.25 | 0.017 | 0.180 |

Tabel 3.37 Harga peramaan efisiensi thermal paralel , Rabu 14 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 333.0 | 306.5 | 3.79 | 0.65 | -2.48 | 0.55 | 0.038 | 0.455 |
| 09:30 | 339.0 | 306.8 | 3.92 | 0.64 | -2.53 | 0.54 | 0.046 | 0.425 |
| 10:00 | 343.1 | 306.6 | 4.08 | 0.63 | -2.59 | 0.53 | 0.052 | 0.398 |
| 10:30 | 350.1 | 309.8 | 4.26 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.058 | 0.370 |
| 11:00 | 335.3 | 311.0 | 3.69 | 0.66 | -2.44 | 0.55 | 0.035 | 0.470 |
| 11:30 | 353.6 | 311.2 | 4.29 | 0.62 | -2.66 | 0.52 | 0.061 | 0.360 |
| 12:00 | 352.8 | 310.0 | 4.17 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.061 | 0.368 |
| 12:30 | 350.1 | 309.0 | 4.28 | 0.62 | -2.66 | 0.52 | 0.059 | 0.366 |
| 13:00 | 340.1 | 306.2 | 3.79 | 0.65 | -2.48 | 0.55 | 0.048 | 0.429 |
| 13:30 | 322.4 | 308.1 | 2.61 | 0.74 | -1.93 | 0.62 | 0.020 | 0.582 |
| 14:00 | 317.1 | 308.0 | 4.10 | 0.63 | -2.60 | 0.53 | 0.013 | 0.498 |

Tabel 3.38 Harga peramaan efisiensi thermal paralel , Kamis 15 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 319.7 | 309.1 | 2.59 | 0.74 | -1.92 | 0.62 | 0.015 | 0.594 |
| 09:30 | 324.2 | 308.8 | 2.63 | 0.74 | -1.94 | 0.62 | 0.022 | 0.577 |
| 10:00 | 334.3 | 309.5 | 3.34 | 0.68 | -2.29 | 0.57 | 0.035 | 0.494 |
| 10:30 | 336.8 | 308.5 | 3.48 | 0.67 | -2.35 | 0.57 | 0.040 | 0.472 |
| 11:00 | 340.3 | 308.0 | 3.53 | 0.67 | -2.37 | 0.56 | 0.046 | 0.454 |
| 11:30 | 345.2 | 307.6 | 3.74 | 0.66 | -2.46 | 0.55 | 0.054 | 0.420 |
| 12:00 | 354.4 | 308.8 | 3.97 | 0.64 | -2.55 | 0.54 | 0.065 | 0.373 |
| 12:30 | 353.2 | 309.5 | 3.88 | 0.65 | -2.51 | 0.54 | 0.062 | 0.387 |
| 13:00 | 350.1 | 308.5 | 3.75 | 0.66 | -2.46 | 0.55 | 0.059 | 0.405 |
| 13:30 | 335.0 | 307.9 | 2.59 | 0.74 | -1.92 | 0.62 | 0.039 | 0.549 |
| 14:00 | 329.2 | 306.0 | 4.51 | 0.61 | -2.74 | 0.51 | 0.033 | 0.419 |

Tabel 3.39 Harga peramaan efisiensi thermal pararel , Jumat 16 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 335.5 | 306.9 | 3.89 | 0.65 | -2.52 | 0.54 | 0.041 | 0.440 |
| 09:30 | 338.8 | 306.2 | 4.07 | 0.63 | -2.58 | 0.53 | 0.047 | 0.413 |
| 10:00 | 340.2 | 308.4 | 4.09 | 0.63 | -2.59 | 0.53 | 0.045 | 0.414 |
| 10:30 | 345.4 | 311.2 | 4.12 | 0.63 | -2.60 | 0.53 | 0.049 | 0.403 |
| 11:00 | 349.5 | 306.9 | 4.23 | 0.62 | -2.64 | 0.52 | 0.061 | 0.364 |
| 11:30 | 351.9 | 308.9 | 4.31 | 0.62 | -2.67 | 0.52 | 0.061 | 0.356 |
| 12:00 | 351.9 | 311.0 | 4.26 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.058 | 0.368 |
| 12:30 | 351.8 | 309.5 | 4.39 | 0.61 | -2.70 | 0.52 | 0.060 | 0.353 |
| 13:00 | 349.4 | 306.5 | 4.28 | 0.62 | -2.66 | 0.52 | 0.061 | 0.359 |
| 13:30 | 340.1 | 307.4 | 3.93 | 0.64 | -2.53 | 0.54 | 0.047 | 0.423 |
| 14:00 | 327.8 | 305.0 | 4.63 | 0.60 | -2.78 | 0.50 | 0.033 | 0.414 |

Tabel 3.40 Harga peramaan efisiensi thermal pararel , Sabtu 17 April 2004

| JAM | Ti | Ta | UL | Fr | -Fr.UL | Fr. $\tau\alpha$ | Ti-Ta/G _T | η |
|-------|-------|-------|------|------|--------|------------------|----------------------|--------|
| 09:00 | 329.4 | 303.8 | 3.58 | 0.67 | -2.39 | 0.56 | 0.037 | 0.473 |
| 09:30 | 338.7 | 307.0 | 4.00 | 0.64 | -2.56 | 0.54 | 0.045 | 0.421 |
| 10:00 | 340.6 | 307.1 | 4.02 | 0.64 | -2.57 | 0.54 | 0.048 | 0.413 |
| 10:30 | 344.2 | 307.1 | 4.15 | 0.63 | -2.61 | 0.53 | 0.053 | 0.390 |
| 11:00 | 345.6 | 307.2 | 4.24 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.055 | 0.379 |
| 11:30 | 347.8 | 308.6 | 4.25 | 0.62 | -2.65 | 0.52 | 0.056 | 0.375 |
| 12:00 | 347.9 | 307.4 | 4.34 | 0.62 | -2.68 | 0.52 | 0.058 | 0.364 |
| 12:30 | 348.0 | 307.0 | 4.17 | 0.63 | -2.62 | 0.53 | 0.059 | 0.374 |
| 13:00 | 345.8 | 305.1 | 4.19 | 0.63 | -2.63 | 0.53 | 0.058 | 0.374 |
| 13:30 | 315.8 | 305.5 | 2.54 | 0.75 | -1.89 | 0.63 | 0.015 | 0.598 |
| 14:00 | 310.3 | 304.3 | 3.97 | 0.64 | -2.55 | 0.54 | 0.009 | 0.517 |

BAB IV PEMBAHASAN

Thermosiphon solar water heater merupakan suatu alat pemanas yang dalam pengoperasiannya sangat tergantung oleh radiasi yang diberikan oleh matahari yang berupa panas. Kenyataannya dalam pengujian panas yang didapat dari waktu ke waktu tidaklah konstan. Prestasi pemanas air yang didapat juga akan berbeda untuk tiap pengujian. Karena adanya berbagai macam factor yang menyebabkan terjadinya perbedaan di tiap pengujian, maka perlu adanya suatu analisa dan pembahasan dari data yang telah diperoleh selama pengujian.

Setelah data dari tiap pengujian dihitung dan dianalisa, maka kita akan memperoleh data mengenai prestasi dari alat yang kita uji. Dari hasil analisa ini kita juga akan mendapatkan data yang berbeda di tiap jenis, jam, hari, serta kondisi lingkungan yang membuat hasil dari analisa kita berbeda untuk tiap pengujian.

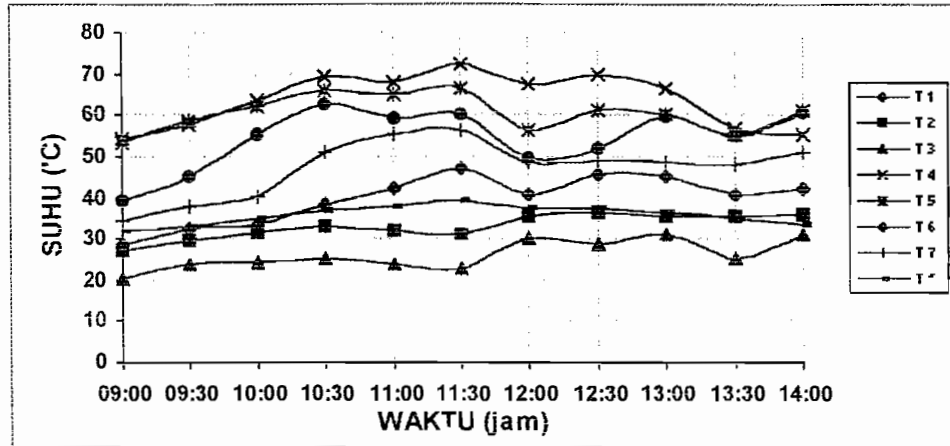
Dengan adanya pembahasan dari hasil analisa ini, akan diketahui faktor serta kondisi apa yang menyebabkan perbedaan data yang diperoleh.

4.1 Data Selama Pengujian.

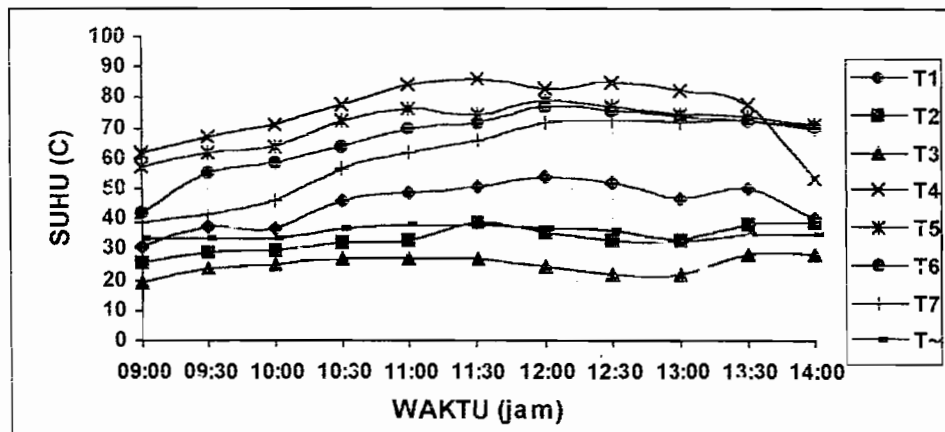
Selama pengambilan data, diperoleh data yang berbeda dari tiap pengujian meskipun pengambilan untuk semua tiap data pada waktu dan tempat yang sama.



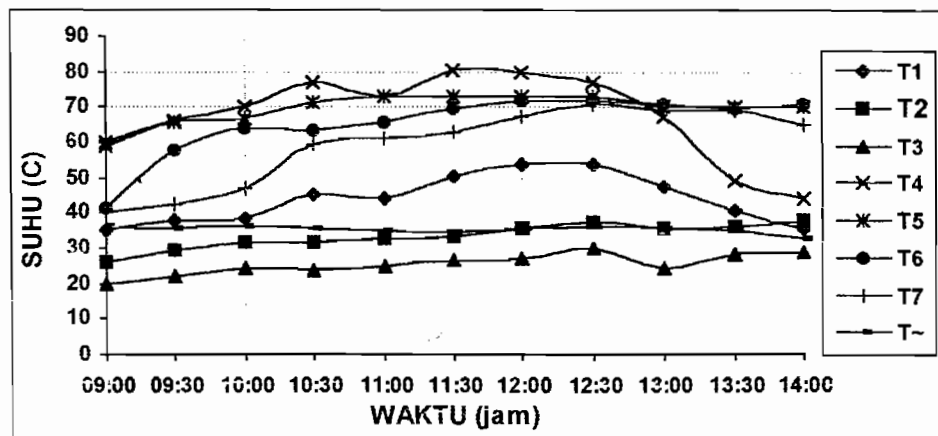
a. pipa seri



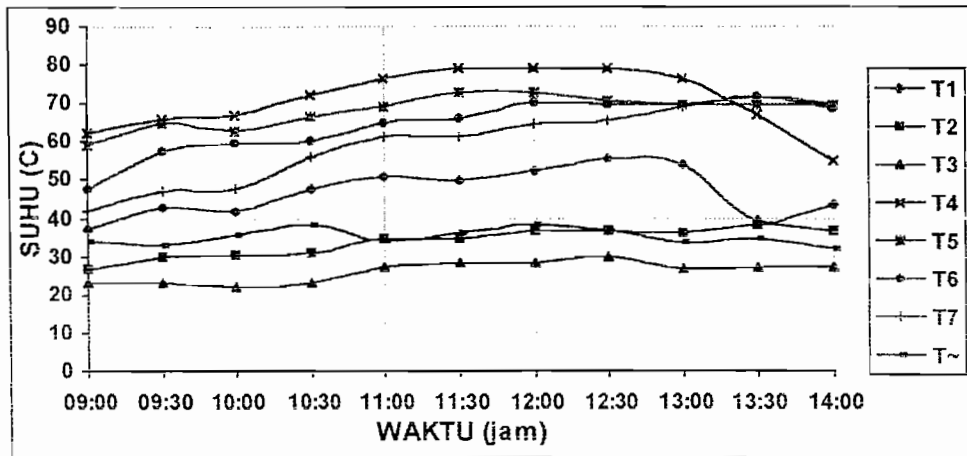
Grafik 4.1 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa seri, Selasa 13 April 2004



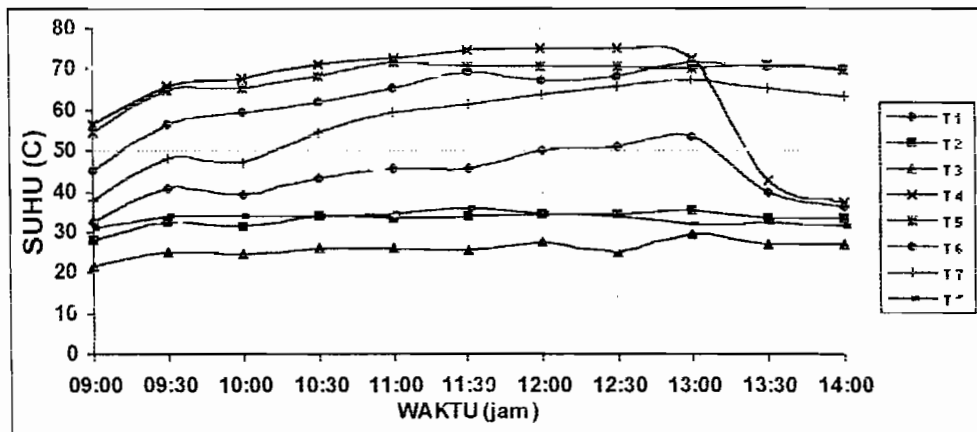
Grafik 4.2 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa seri, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.3 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa seri, Kamis 15 April 2004

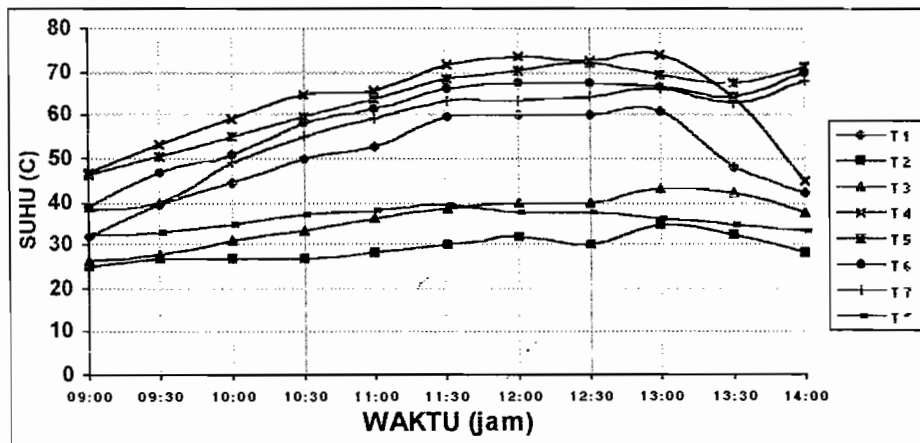


Grafik 4.4 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa seri, Jumat 16 April 2004

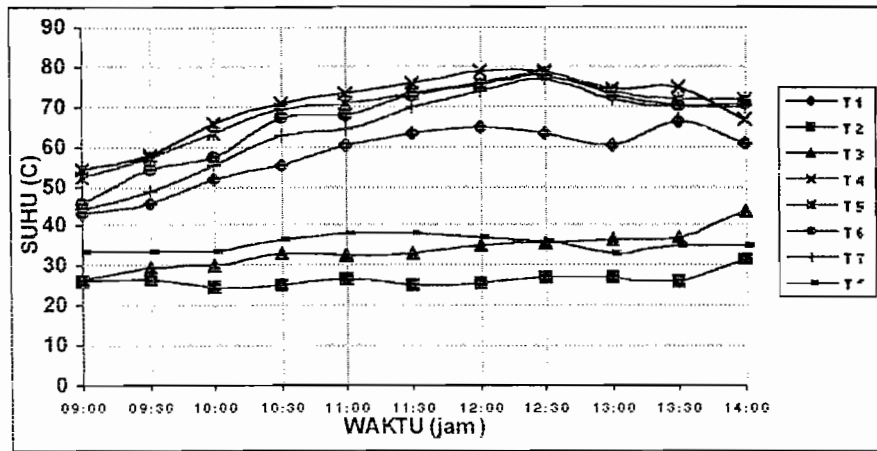


Grafik 4.5 Distribusi suhu terhadap thermosiphon pipa seri, Sabtu 17 April 2004

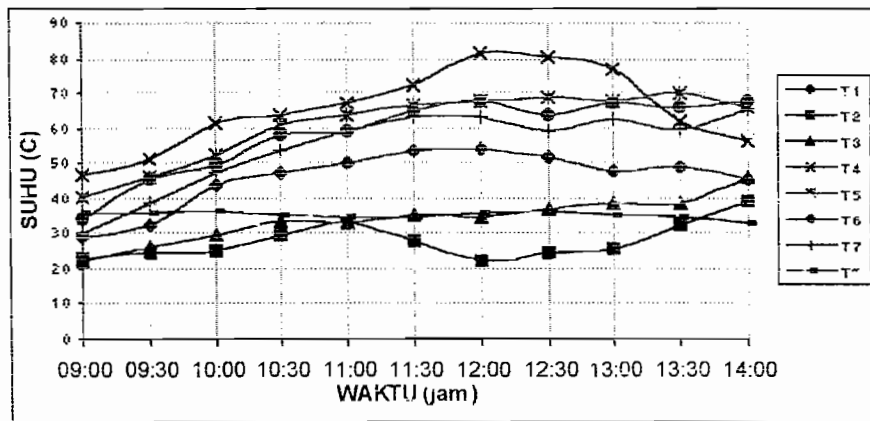
b. *thermosiphon pipa paralel*



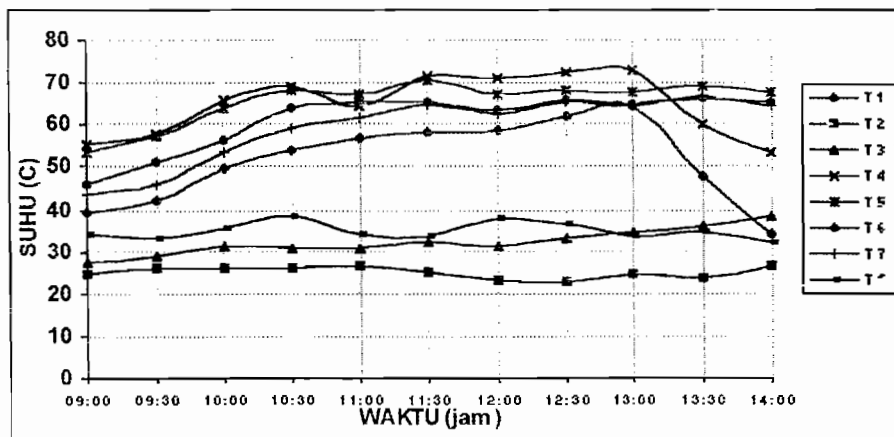
Grafik 4.6 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa paralel, Selasa 13 April 2004



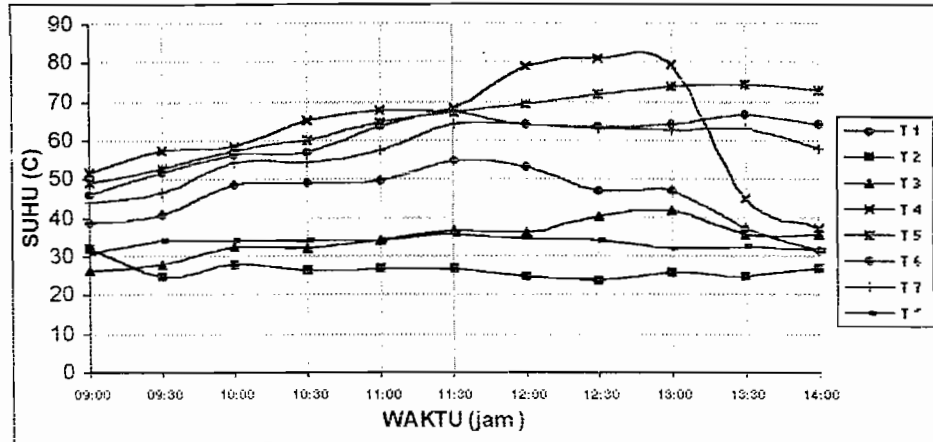
Grafik 4.7 distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa paralel, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.8 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa paralel, Kamis 15 April 2004



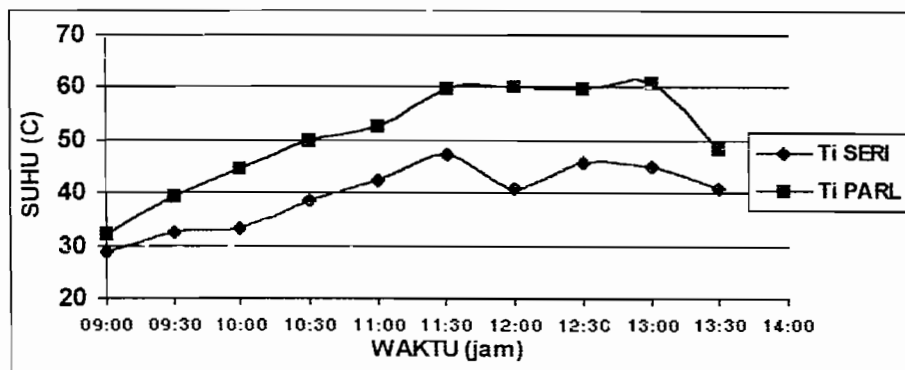
Grafik 4.9 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa paralel, Jumat 16 April 2004



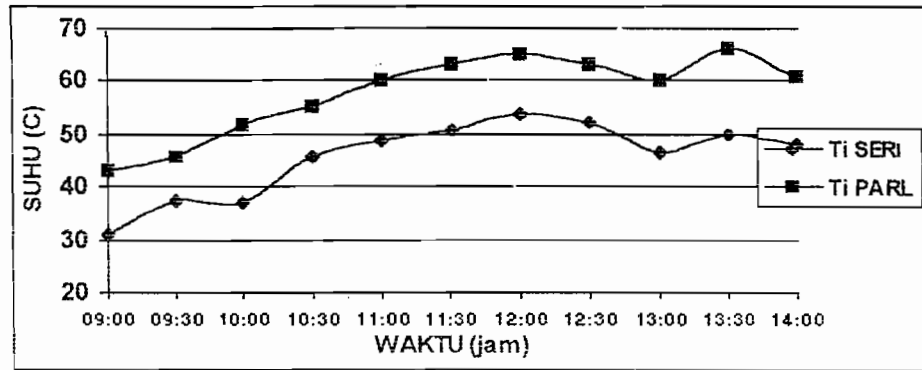
Grafik 4.10 Distribusi suhu terhadap waktu thermosiphon pipa paralel, sabtu 17 April 2004

Distribusi temperatur di setiap pengujian sangat berbeda, hal ini dikarenakan adanya kondisi lingkungan sekitar yang juga berubah setiap waktu, sehingga akan sangat berpengaruh terhadap perolehan panas/kalor selama pengujian. Adanya awan, radiasi matahari, serta posisi alat yang selalu berbeda tiap pengujian membuat data yang diperoleh tiap waktu / jam untuk hari yang berbeda membuat data yang diperoleh juga berbeda.

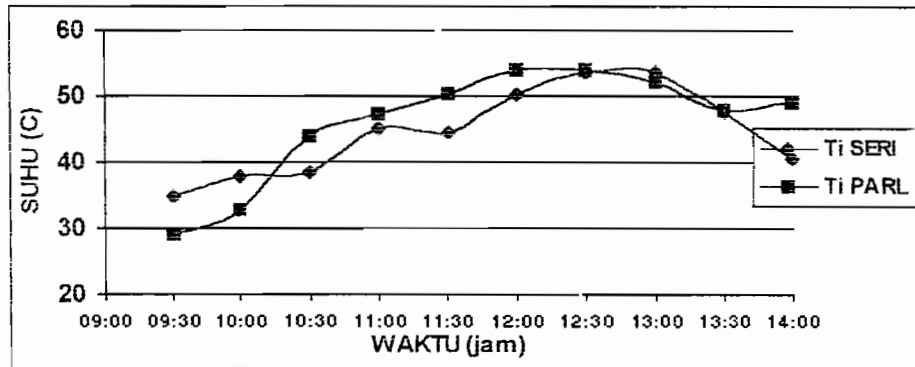
4.2 Temperatur air masuk



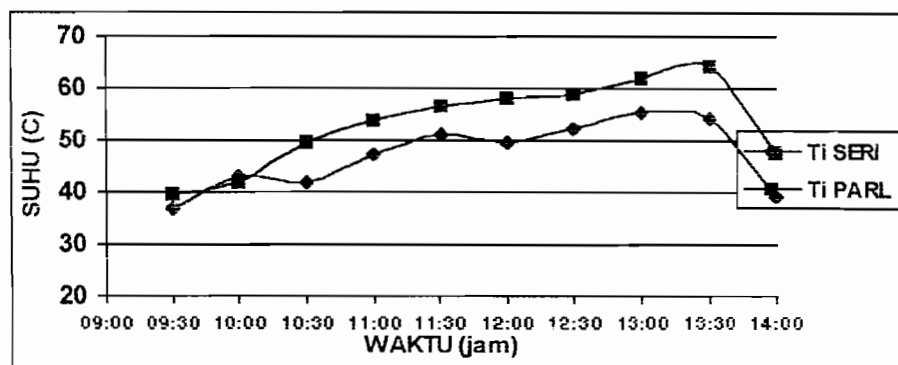
Grafik 4.11 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Selasa 13 April 2004



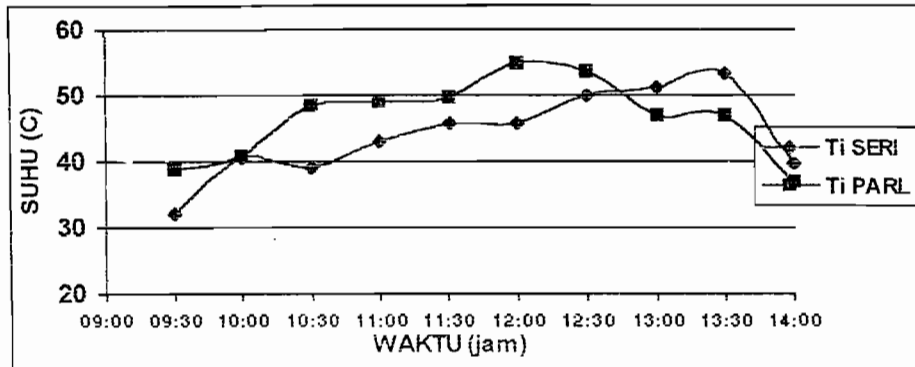
Grafik 4.12 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.13 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Kamis 15 April 2004



Grafik 4.14 Distribusi temperatur air masuk kolektor, Jumat 16 April 2004

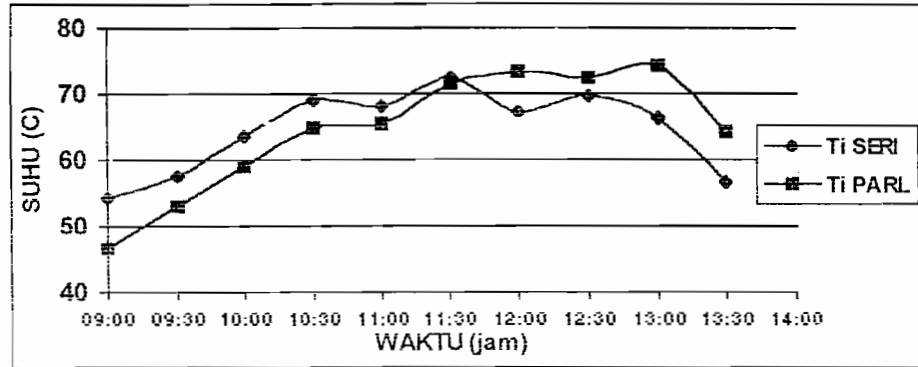


Grafik 4.15 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Jumat 17 April 2004

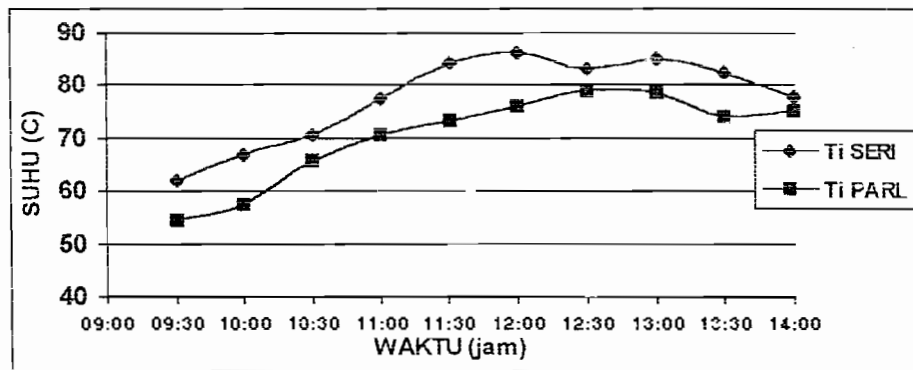
Distribusi perubahan air masuk ke kolektor tiap waktu berbeda. Mula-mula temperatur air sama dengan temperatur lingkungan / temperatur kamar, tapi lama-kelamaan temperatur akan meningkat sebanding dengan meningkatnya temperatur didalam tangki penyimpanan, khususnya temperatur air tangki bagian bawah.

Namun setelah temperatur kolektor turun akibat turunnya radiasi kalor dari matahari maka temperatur air masuk juga turun. Ini dikarenakan air yang masuk ke kolektor berasal dari tangki penyimpanan air panas yang diisolasi. Air yang ada didalam tangki akan mencapai suhu maksimal dan lama-kelamaan akan menjadi seragam (temperatur uniform) sehingga air yang keluar dengan temperatur tinggi setelah melewati pipa menuju ke kolektor, temperatur itu akan menurun karena adanya perbedaan temperatur antara air dari tangki yang lebih panas dengan temperature sekitar yang lebih dingin. Hal tersebut membuat air yang masuk ke kolektor akan menjadi turun suhunya karena sirkulasi air yang sangat lambat, yang memungkinkan terjadinya distribusi suhu dari temperatur panas menjadi temperatur yang lebih dingin.

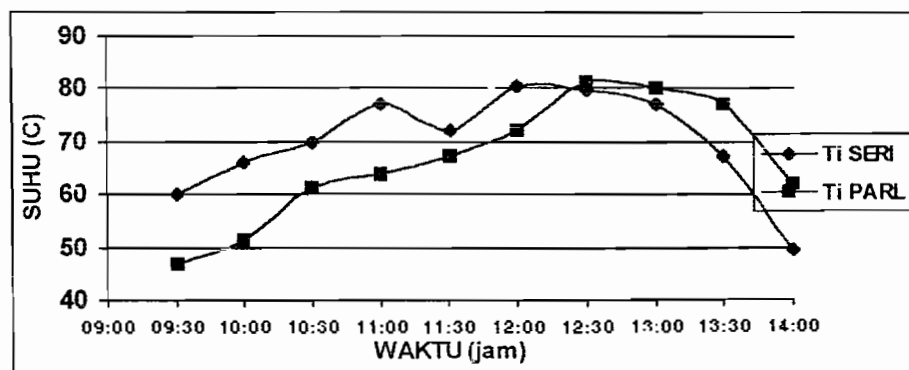
4.3 Temperatur air keluar



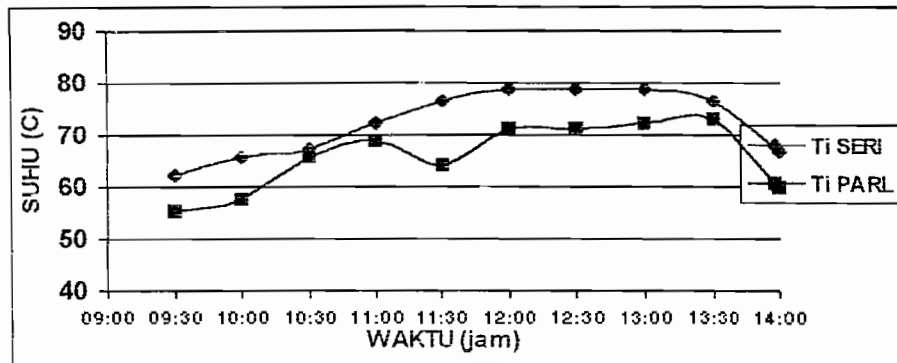
Grafik 4.16 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Selasa 13 April 2004



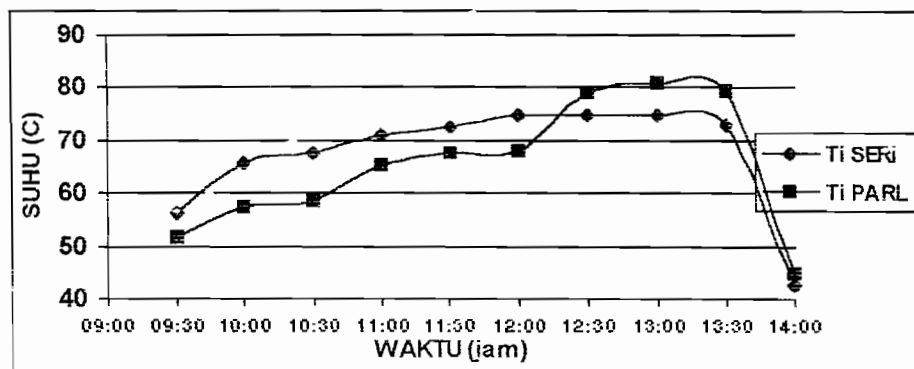
Grafik 4.17 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.18 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Kamis 15 April 2004



Grafik 4.19 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Jumat 16 April 2004

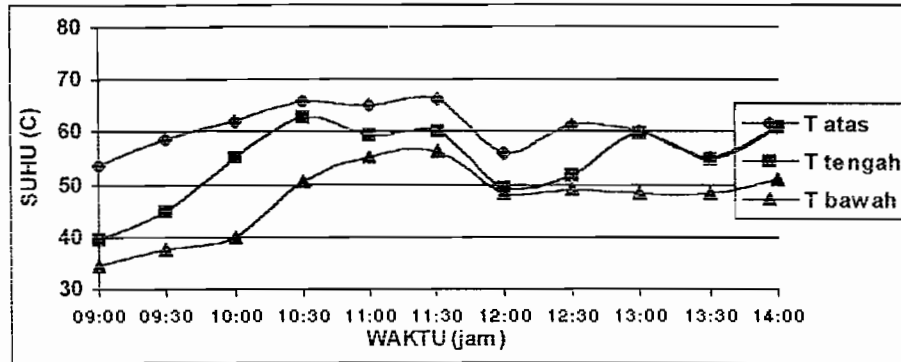


Grafik 4.20 Distribusi temperatur air keluar kolektor, Jumat 17 April 2004

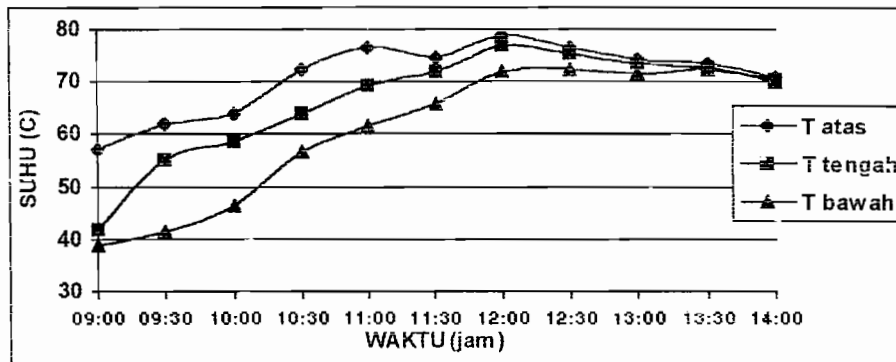
Temperatur air keluar dipengaruhi oleh panas yang diserap oleh kolektor, sehingga apabila kolektor menerima peningkatan temperatur dari radiasi matahari maka air yang bersirkulasi di dalam kolektor juga akan mengalami peningkatan temperatur. Temperatur air akan meningkat sebanding dengan peningkatan temperatur pada kolektor. Sebaliknya apabila temperatur yang diterima kolektor menurun akibat posisi matahari yang berubah, maka air yang bersirkulasi di dalam kolektor juga akan mengalami penurunan temperatur.

4.4 Temperatur Tangki Penyimpan Air Panas

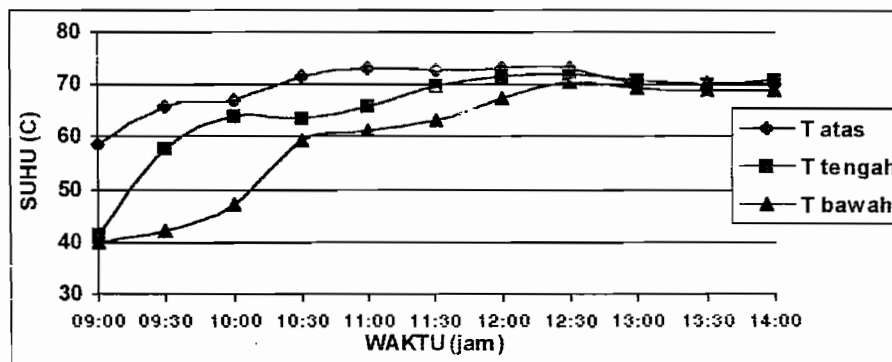
a. pipa seri



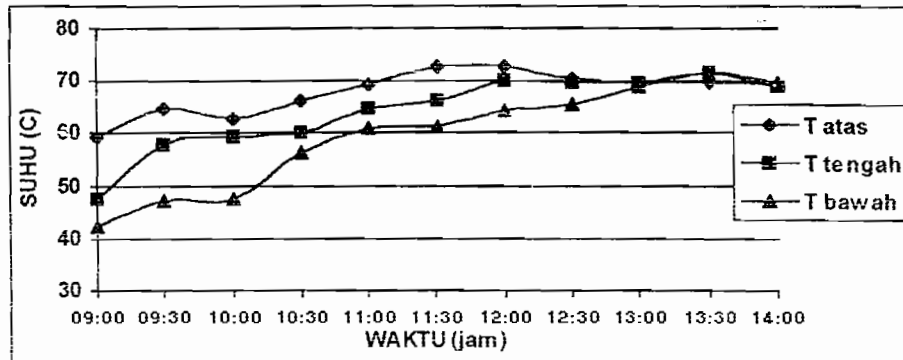
Grafik 4.21 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa seri, Selasa 13 April 2003



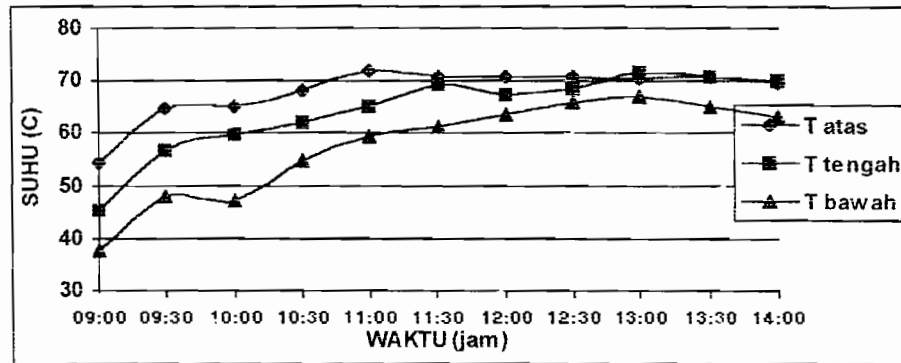
Grafik 4.22 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa seri, Rabu 14 April 2003



Grafik 4.23 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa seri, Kamis 15 April 2003

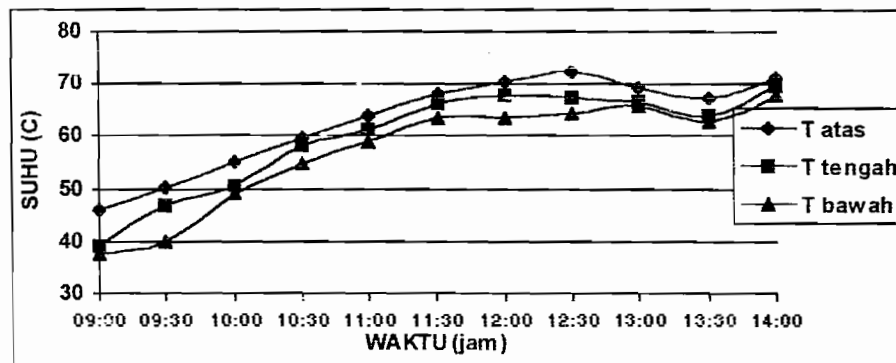


Grafik 4.24 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa seri, Jumat 16 April 2003

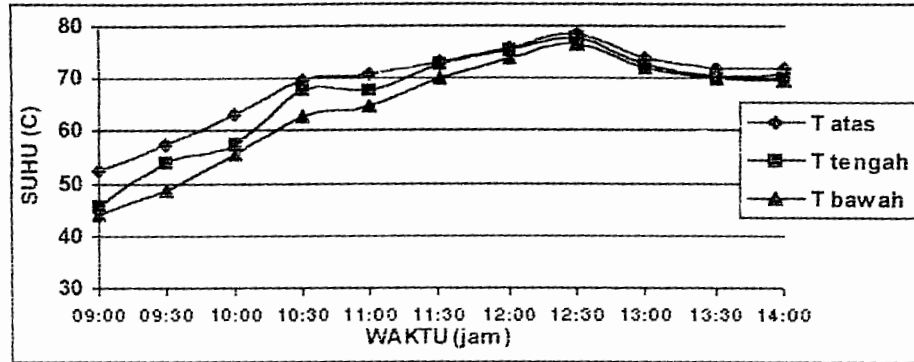


Grafik 4.25 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa seri, Sabtu 17 April 2003

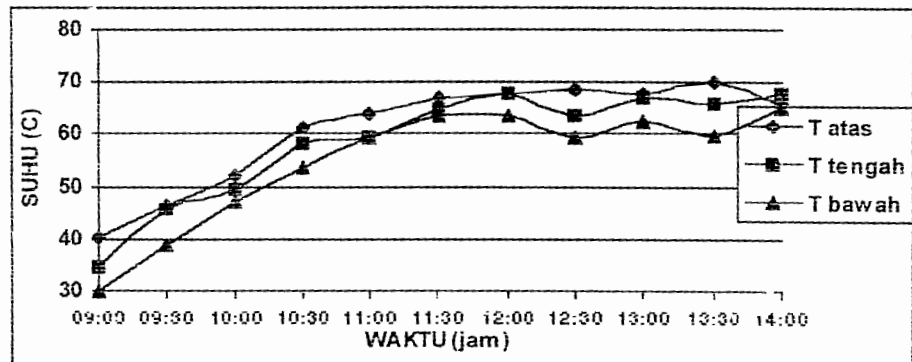
b. pipa pararael



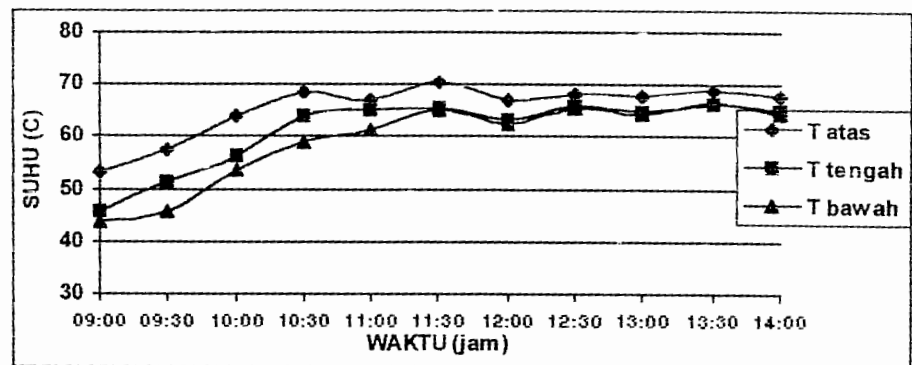
Grafik 4.26 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa pararel, Selasa 17 April 2003



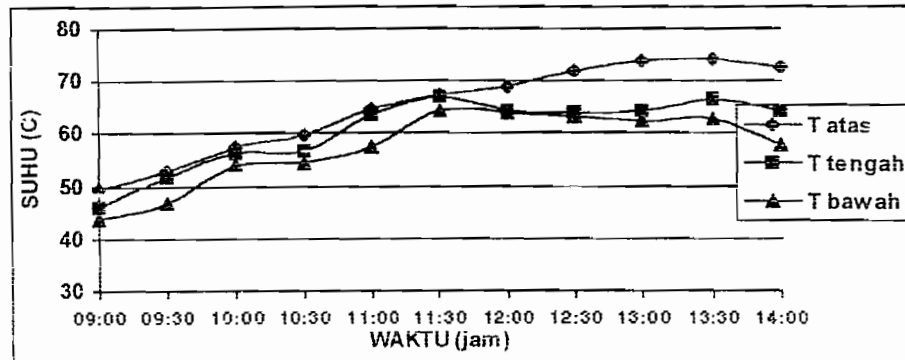
Grafik 4.27 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa paralel, Rabu 14 April 2003



Grafik 4.28 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa paralel, Kamis 15 April 2003



Grafik 4.29 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa paralel, Jumat 16 April 2003

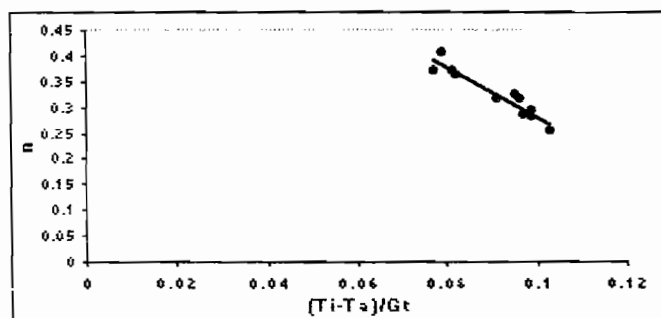


Grafik 4.30 Temperatur tangki penyimpanan air panas pipa paralel, Sabtu 17 April 2003

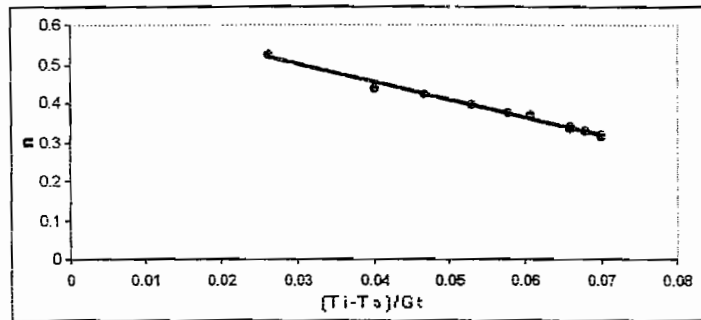
Temperatur air dalam tangki penyimpanan panas temperaturnya akan meningkat dari temperatur ruangan ke temperatur yang lebih tinggi sebanding dengan panas yang diterima kolektor dari radiasi matahari. Tetapi temperatur air akan maksimal bukan pada saat radiasi matahari maksimal (siang hari), tetapi setelah tengah hari karena air yang telah panas akan disimpan dalam tangki yang diberi isolasi, sehingga panas yang keluar hanya seminimal mungkin. Dan air dari tangki yang telah memiliki temperatur tinggi akan terus terpanasi, sehingga walau panas yang diterima kolektor berkurang air dalam tangki temperaturnya tetap tinggi.

4.5 Persamaan Efisiensi Thermal

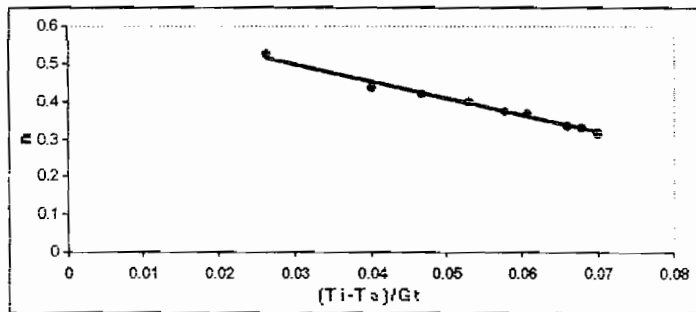
a. pipa seri



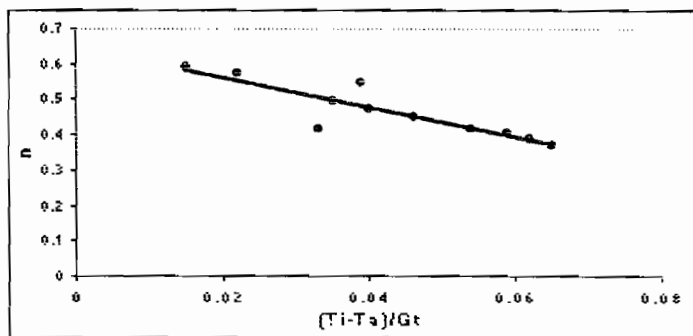
Grafik 4.31 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri, Selasa 13 April 2004



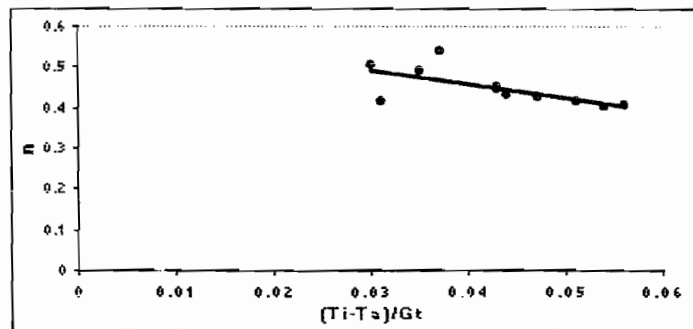
Grafik 4.32 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.33 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri, Kamis 15 April 2004

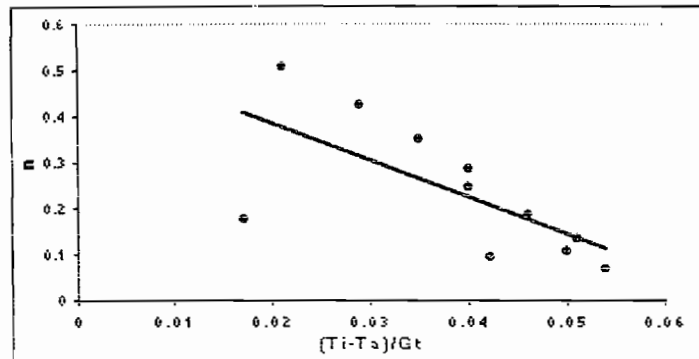


Grafik 4.34 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri, Jumat 16 April 2004

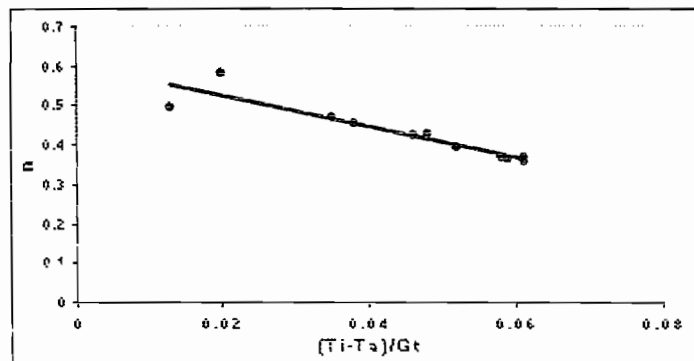


Grafik 4.35 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa seri, Sabtu 17 April 2004

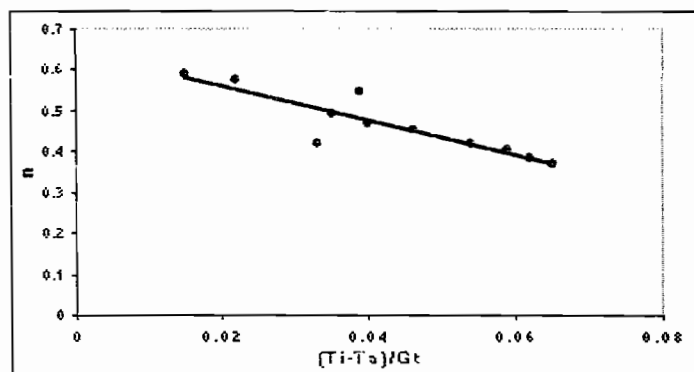
b. pipa paralel



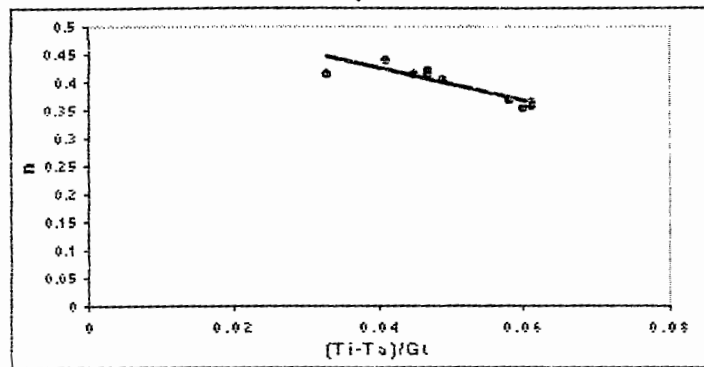
Grafik 4.36 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa paralel, Selasa 13 April 2004



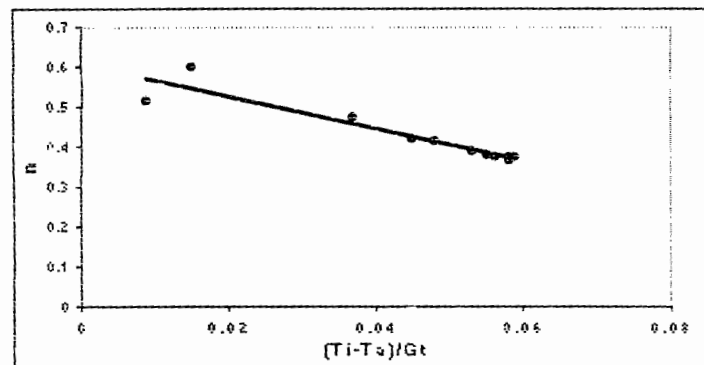
Grafik 4.37 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa paralel, Rabu 14 April 2004



Grafik 4.38 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa paralel, Kamis 15 April 2004



Grafik 4.39 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa paralel, Jumat 16 April 2004



Grafik 4.40 Kurva efisiensi thermal kolektor pipa paralel, Sabtu 17 April 2004

Dari persamaan efisiensi thermal dapat dilihat bahwa efisiensi thermal dari sebuah kolektor surya bukanlah sebuah konstanta melainkan sebuah karakteristik dengan variabel yang tinggi yang tergantung dari temperatur di luar, tingkat radiasi surya, dan temperatur fluida pada pipa masuk.

BAB V. PENUTUP

5.1 Sistem Kerja Mesin Pemanas Air Thermosifon

Sistem thermosiphon berdasar pada kenaikan suhu air, suatu peristiwa yang dikenal sebagai konfeksi alam, untuk mengalirkan air melalui kolektor sampai ke tangki. Dalam instalasi jenis thermosifon, letak tangki harus di atas kolektor. Sama seperti air di dalam kolektor panas, air menjadi lebih ringan dan naik secara alami ke dalam tangki sebelah atas. Sementara itu, air yang lebih dingin akan turun ke bawah dari kolektor, yang akan menyebabkan peredaran ke seluruh sistem itu. Tangki penyimpan terhubung dengan puncak kolektor sedemikian sehingga thermosiphoning dapat terjadi. Sistem ini relatif murah dan dapat dipercaya tetapi memerlukan perencanaan yang hati-hati dalam konstruksi baru sebab tangki air sangat berat. Mereka dapat dibuat anti beku dengan memutarakan suatu bahan anti beku melalui suatu penukar panas dalam perputaran yang tertutup untuk memanaskan air rumah.

Alat pemanas air matahari (Solar Water Heater) dapat menghadirkan suatu alternatif dengan biaya-biaya rendah di negara-negara dengan biaya energi tinggi dan iradiasi cukup. Sirkulasi dari panas yang dibawa cairan di dalam pemanas air tenaga surya yang diuraikan di sini diakibatkan oleh perbedaan kepadatan antara cairan yang lebih hangat di panel matahari dan cairan yang lebih dingin di tangki penyimpanan. Oleh karena itu, tidak ada pompa elektrik atau peralatan kendali yang diperlukan dalam system thermosiphon.

Parameter teknis yang paling utama melihat keadaan cuaca yang tersedia dari pada data cuaca. Karena penggunaan panas dari energi matahari seperti di pemanas air tenaga surya, yang sebagian besar radiasi langsung (menjadi bagian dari radiasi global) dapat digunakan untuk produksi energi. Oleh karena itu, perbandingan antara pemakaian dan pengarahannya di area yang dimasalahkan harus dicek secara hati-hati. Panas hasil radiasi dari debu, kabut dan kondisi - kondisi berawan dapat dipakai, meskipun menghasilkan radiasi global yang akan menghambat kelayakan pemanas air tenaga surya yang hemat di daerah subtropis dan tropis. Pertimbangan penting yang lain adalah periode beku di area itu. Jika pembekuan terjadi, pemanas air tenaga surya harus dioperasikan dengan suatu campuran bahan anti beku ke air. Pada daerah yang mengalami pembekuan, gunakan suatu sirkulasi kolektor pump-driven dan tempatkan tangki penyimpanan di ruang pemanasan akan lebih baik. Adanya angin kencang dan temperatur udara yang rendah pada umumnya membuat kolektor perlu ditutup dengan kaca, terutama jika kebutuhan kenaikan suhu dan ketersediaan air panas tinggi.

Ketika membangun dan menerapkan pemanas air tenaga surya harus dipastikan bahwa sirkulasi cairan pembawa panas terjadi. Prinsip dasar pemanas air tenaga surya secara umum karena adanya gaya berat, sistem sirkulasi perlu menghindari pembentukan kantong udara di dalam kolektor peredaran. Dan juga, semua diameter pipa harus cukup besar untuk memperkecil kerugian. Kemiringan dari garis yang menghubungkan antara tangki dan kolektor harus sedikitnya 8° . Sama penting dengan kemiringan sedikit horisontal ($1-2^\circ$) dari kolektor pada arah

keluar bagian atas menunjuk dari kolektor, ini dalam rangka menghindari pembentukan kantong udara di sudut kolektor. Suatu kemiringan 8° vertikal didasarkan pada pengalaman. Kemiringan yang vertikal dari kolektor adalah ditentukan juga oleh garis lintang daerah. Dekat dengan garis katulistiwa, sinar matahari menyinari alas hampir tegak lurus sepanjang tahun, tetapi membuat kolektor yang ditundukkan sedikit baik. Kontras dengan situasi di Eropa pusat meminta suatu sudut pemasangan yang optimal sekitar 30° . Kalkulasi terperinci menyangkut kemiringan suatu pemanas air tenaga surya di suatu sistem gravity-driven sungguh sangat rumit. Bagaimanapun, dapat disederhanakan dengan menggunakan pembatas volume kolektor dan volume air mengalir sebagai media pembawa panas. Sirkulasi diakibatkan oleh kepadatan yang berbeda dan oleh perbedaan di tingginya. Jumlah perbedaan dalam tekanan statis menentukan seberapa cepat sistem akan bekerja.

Kolektor harus dilindungi terhadap ekspansi termal dari cairan pembawa panas. Cara lainnya, terjadinya bahaya jika pemasangan dirusak secara prematur lebih dulu menekan kompresi. Sirkulasi kolektor harus mampu bereaksi dalam waktu singkat terhadap perbedaan kepadatan di tanki air. Sebagai tambahan, suatu katup pengaman harus melindungi pemanas air tenaga surya dari tekanan maksimum yang diizinkan pada pemasangan. Volume udara ini dapat dihitung dari volume panas yang dibawa cairan di sirkulasi kolektor, beban tekanan dan tekanan pemasangan maksimum yang diizinkan. Pada pemanas air tenaga surya air mengalir secara langsung sampai ke kolektor. Tidak ada kebutuhan untuk manambah fasilitas karena tekanan panas dapat dibawa secara langsung melalui

pipa yang bersih. Meski demikian, suatu katup pengaman perlu juga dipasang karena dimungkinkan adanya perubahan tekanan yang mendadak dalam pipa dapat merusak

Pemanas air tenaga surya harus dipasang secara langsung di tempat yang langsung terkena sinar matahari. Tempat teduh atau bangunan juga harus diperhitungkan karena hal tersebut dapat mempengaruhi energi yang diperlukan maupun energi yang nantinya akan dihasilkan oleh pemanas air tenaga surya. Jika suatu pemanas air dihubungkan untuk suatu tangki penyimpanan air yang tinggi harus dicek apakah tangki penyimpanan dapat menyediakan cukup tekanan untuk mengisi pemanas air itu.

5.2 Perawatan Mesin Pemanas Air Thermosifon

Mesin pemanas air tenaga surya dengan system thermosifon sebagai alat teknologi yang terhubung langsung dengan alam, dipastikan akan mengalami suatu kerusakan akibat dampak dari lingkungan sekitar. Adanya fluida yang berupa air yang bersirkulasi di mesin ini akan menyebabkan terjadinya penurunan mutu kerja dari mesin pemanas air ini. Oleh karena itu untuk menghindari dan mencegah terjadinya kerusakan yang nantinya akan merusak dan menurunkan operasional, perlu diperhatikan beberapa hal:

5.2.1 Pecegahan terhadap korosi

Pemasangan pemanas air tenaga surya pada atap logam Electrochemical karatan sebagai bagian dari pemanas air tenaga sampai kontak dengan logam lain seperti

seng dan tembaga harus dihindarkan pada saat memasang pemanas air tenaga pada atap logam. Jika logam dengan potensial elektrokimia berbeda disekrup bersama-sama, suatu pengatur jarak seperti karet harus digunakan untuk menghindari kontak langsung kedua logam tersebut .

Bersama-sama dengan pipa baja yang telah digalvanisir keduanya logam harus dipisahkan esecara elektrokimia oleh adapter kuningan. Ke arah muara dari suatu pipa tembaga, tidak perlu ada pipa baja digalvanisir yang harus dipasang karena ion tembaga akan menjangkau seng dengan air dan berkarat. Dalam rangka menghindari karatan suatu solar wate heater, dianjurkan memakai suatu sistem peredaran tertutup. Terutama jika tembaga digunakan sebagai material penyerap panas akan terjadi bahaya karatan elektrokimia pada sistem terbuka. Karatan dapat juga terjadi di celah dan kerusakan dari tangki yang dibangun dengan tidak tepat. Untuk menghindari kerusakan ini, permukaan badan dari tangki harus dibangun komponen yang sikunya tumpul.

Solahart akan mencegah korosi dengan memasang komponen yang sederhana untuk mencegah serangan air yang korosif.

Dengan menggunakan komponen metal yang dikenal sebagai Anode, mengatasi korosi pada tangki dan komponen lainnya seperti elemen listrik. Cara ini untuk mencegah korosi telah dipakai diseluruh dunia dimana bahan metal direndam dalam air. Dalam kurun waktu tertentu, anode akan diserap, melepas garam magnesium yang tidak berbahaya kedalam air. Umur anode bervariasi tergantung pada kualitas air, mungkin 5 tahun atau mungkin 15 tahun. Selain anode, tangki

baja Solahart juga tidak langsung kena air, pada beberapa produk Solahart minimum umur anode sampai 12 tahun. Ada beberapa kelebihan pada anode, yaitu lebih murah dan mudah untuk menggantinya dibandingkan kalau harus mengganti seluruh tangki. Pada waktu air panas diambil dari Solahart, air dingin, dijaga supaya tidak tercampur dengan air panas. Air dingin pengganti masuk kedalam tangki melalui pipa berlubang sepanjang tangki, dengan aliran laminar, ini mencegah percampuran dengan air panas. Hal lain adalah peletakan sambungan pipa keluar dibagian paling tinggi dari tangki sehingga air yang mengalir keluar selalu terpanas karena air yang lebih panas selalu berada dibagian yang paling atas.

5.2.2 Mengendalikan air yang mengandung belerang

Pada kondisi – kondisi tertentu, harus dipertimbangkan adanya hydrogen sulfida ketika memanaskan air. Air yang dipanaskan melepaskan gas hydrogen sulfida lebih cepat dari air dingin. Suatu situasi terjadi dalam satu detik ketika sulfat di dalam air berubah menjadi hydrogen sulfida di pemanas air.

5.2.3 Bersihkan pipa setelah dipakai.

Pipa – pipa yang habis dipakai untuk mensirkulasi air panas dikolektor biasanya akan terdapat sedimen atau kerak yang menempel akibat air yang dipakai kurang bersih. Untuk itu bersihkan secara rutin dengan air yang benar – benar bebas dari segala kotoran, atau gunakan air mineral. Karena hal ini akan mengurangi adanya sedimen yang menempel pada pipa.

5.2.4 Beberapa saran untuk efisiensi

- Gunakan penyaring air untuk mencegah terjadinya pengendapan atau pengendapan kotoran pada pipa saluran air panas dan panel, sehingga penyerapan panas lebih efisien.
- Jangan gunakan produk dengan barang yang kurang bermutu. Anoda magnesium, misalnya, dapat mencemari air dan menimbulkan reaksi menjadi gas hydrogen..

5.3 Kesimpulan

Dari pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan, kita peroleh kesimpulan mengenai pemanas air tenaga surya sistem thermosiphon :

1. Pemanas air thermosiphon yang mempergunakan pipa dengan jenis aliran seri akan mendapatkan temperatur pemanasan yang lebih tinggi dari pada pemanas air dengan mempergunakan pipa paralel. Ini dikarenakan luas / panjang bidang pemanasan pipa seri lebih besar dari pipa paralel. Air yang mengalir di dalam pipa seri akan mengalir sepanjang pipa seri, dari pipa masuk sampai pipa keluar (satu aliran), sedangkan untuk yang menggunakan pipa paralel aliran air dalam pipa akan terbagi menjadi sejumlah aliran pipa yang dibuat berjajar, panjang penampang pipa aliran lebih pendek, sehingga panas yang diterima juga akan lebih kecil.

2. Besarnya temperatur air panas yang diterima kolektor yang kemudian akan disimpan di dalam tangki penyimpanan dipengaruhi oleh keadaan cuaca mempengaruhi pancaran / radiasi matahari yang datang ke permukaan bumi (yang diserap kolektor). Semakin cerah cuaca, maka semakin banyak energi matahari yang dapat diserap pelat kolektor, sehingga temperatur dalam tangki yang dihasilkan menjadi besar.

DAFTAR PUSTAKA

Ted. J. Jansen, Di Indonesiakan oleh : Prof. Wiranto Aris Munandar, 1995,
Teknologi Rekayasa Surya, Jakarta, PT. Pradnya Paramitha.

Aris Munandar.W, 1995, *Teknologi Rekayasa Surya*, Jakarta, PT. Pradnya
Paramitha, Cetakan pertama.

Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, *Perpindahan Kalor*, Salemba Teknik, Edisi
pertama.

L A M P I R A N

TABEL A Sifat Air (Cair Jernih)

| °F | °C | c_p , kJ/(kg·°C) | ρ kg/m ³ | μ , kg/m·s or Pa·s | k W/(m·°C) | Pr | $g\beta\rho^2c_p/\mu k$, 1/(m ³ ·°C) |
|-----|-------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|-------|---|
| 32 | 0 | 4.225 | 999.8 | 1.79×10^{-3} | 0.566 | 13.25 | |
| 40 | 4.44 | 4.208 | 999.8 | 1.55 | 0.575 | 11.35 | 1.91×10^9 |
| 50 | 10 | 4.195 | 999.2 | 1.31 | 0.585 | 9.40 | 6.34×10^9 |
| 60 | 15.56 | 4.186 | 998.6 | 1.12 | 0.595 | 7.88 | 1.08×10^{10} |
| 70 | 21.11 | 4.179 | 997.4 | 9.8×10^{-4} | 0.604 | 6.78 | 1.46×10^{10} |
| 80 | 26.67 | 4.179 | 995.8 | 8.6 | 0.614 | 5.85 | 1.91×10^{10} |
| 90 | 32.22 | 4.174 | 994.9 | 7.65 | 0.623 | 5.12 | 2.48×10^{10} |
| 100 | 37.78 | 4.174 | 993.0 | 6.82 | 0.630 | 4.53 | 3.3×10^{10} |
| 110 | 43.33 | 4.174 | 990.6 | 6.16 | 0.637 | 4.04 | 4.19×10^{10} |
| 120 | 48.89 | 4.174 | 988.8 | 5.62 | 0.644 | 3.64 | 4.89×10^{10} |
| 130 | 54.44 | 4.179 | 985.7 | 5.13 | 0.649 | 3.30 | 5.66×10^{10} |
| 140 | 60 | 4.179 | 983.3 | 4.71 | 0.654 | 3.01 | 6.48×10^{10} |
| 150 | 65.55 | 4.183 | 980.3 | 4.3 | 0.659 | 2.73 | 7.62×10^{10} |
| 160 | 71.11 | 4.186 | 977.3 | 4.01 | 0.665 | 2.53 | 8.84×10^{10} |
| 170 | 76.67 | 4.191 | 973.7 | 3.72 | 0.668 | 2.33 | 9.85×10^{10} |
| 180 | 82.22 | 4.195 | 970.2 | 3.47 | 0.673 | 2.16 | 1.09×10^{11} |
| 190 | 87.78 | 4.199 | 966.7 | 3.27 | 0.675 | 2.03 | |
| 200 | 93.33 | 4.204 | 963.2 | 3.06 | 0.678 | 1.90 | |
| 220 | 104.4 | 4.216 | 955.1 | 2.67 | 0.684 | 1.66 | |
| 240 | 115.6 | 4.229 | 946.7 | 2.44 | 0.685 | 1.51 | |
| 260 | 126.7 | 4.250 | 937 | 2.19 | 0.685 | 1.36 | |
| 280 | 137.8 | 4.271 | 928 | 1.98 | 0.685 | 1.24 | |
| 300 | 148.9 | 4.296 | 918 | 1.86 | 0.684 | 1.17 | |
| 350 | 176.7 | 4.371 | 890 | 1.57 | 0.677 | 1.02 | |
| 400 | 204.4 | 4.467 | 859 | 1.36 | 0.665 | 1.00 | |
| 450 | 232.2 | 4.585 | 825 | 1.20 | 0.646 | 0.85 | |
| 500 | 260 | 4.731 | 785 | 1.07 | 0.616 | 0.83 | |
| 550 | 287.7 | 5.024 | 735 | 9.51×10^{-5} | | | |
| 600 | 315.6 | 5.703 | 678 | 8.68 | | | |

Dari J.P. Holman, *Heat Transfer*, 5th ed. (New York : McGraw-Hill, 1981); diambil dari A.I. Brown, dan S.M. Marco, " *Introduction to Heat Transfer*," 3rd ed (New York: McGraw-Hill, 1958). Digunakan dengan izin penerbit.

Tabel 8 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan Kolektor Surya Tertentu

| 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 |



C LAST CHANGE MAY.02,2004 9:32 AM

C THIS PROGRAM PREDICIS THE LONG PERFORMANCE OF THERMOSIPHON SOLAR
C DOMESTIC HOT WATER SYSTEM.

C THE VARYING COLLECTOR FLOW RATE THROUGHOUT THE DAY AN YEAR IN A
C THERMOSIPHON SYSTEM IS APPROXIMATED BY AN "EQUIVALENT AVERAGE" FIXED
C FLOW RATE IN AVTIVED (PUMPED) SYSTEM.

C THE "EQUIVALENT AVERAGE" FLOW RATE IS FOUND WHICH BALANCES THE
C BUOYANCY FORCES WITH THE FRICTIONAL RESISTANCE IN THE FLOW CIRCUIT. ON
C AMONTHLY AVERAGE BASIS.

C AN INTERATIVE CHHEME IS USED TO FIND FLOW RATE.

C THEREQUIRED INPUTS ARE MONTHLY AVERAGE METEOROLOGICAL DATA AND
C DESCRIPTION OF THE SYSTEM GEOMETRY.

C OUTPUT FROM THE PROGRAM IS THE MOUNTHLY AN ANNUAL SOLAR FRACTION FOR
C THE PARTICULAR SYSTEM, LOCATION, AND HOT WATER LOAD.

C THE SOLAR FRICTION OF THE ACTIVE SYSTEM IS CALCULATED USING THE
C F-CHART METHODE.

C MODIFICATION FOR STORAGE TANK STRATIFICATION IS MADE USING BERNIE
C COPSEY'S WORK

C A CORRELATION BETWEEN SOLAR FRACTION AND NON-DIMENSIONAL AVERAGE TANK
C TEMPERATURE HAS BEEN DEVELOPED BASED O TRNSYS SIMULATION OF A VERTICAL
C TANK THERMOSIPHON SYSTEM WITH AN LINE ADNILIARY HEATER

C THE COOLECTOR INLET TEMP IS ESTIMATED USING THE AVERAGE TANK TEMP, AND
C A FORM OF PHILLIPS' STRATIFICATION COEFICIENT.

DIMENSION DAYS(12), BMAKAD(12), BMAN(12)
REAL KT, KTP, MTEST, MUSE, MUSER, MUSEH, MRIGH, MOML
REAL NRISEP, NRISE, LOAD
CHARACTER*3 AMOUNTH(12)
CHARACTER*4 AYEAR

PI=3.141593

CONV=PI/180

C INPUT LATITUDE FOR PHOENIX, AY, IN DEGREES

DEGL=33.43

L=DEGL*CONV

C SET COLLECTOR SLOPE (B) AT LATTITUDE

B=L

C INPUT VALUES FOR SYSTEM CONFIGURATION AND COLLECTOR PARAMETER
C FROM LOGICAL UNIT

C NUMBER OF COLECTOR PANELS (PANEL)

READ(20,*) PANELS

C COLLECTOR AREA PER PANEL (AP) IN M2
 READ(20,*)AP
C INTERCEPT OF EFFICIENCY VS [T1-TA]/IT CURVE (FRULT) IN KJ/HR-M2-C
 READ(20,*)FRULT
C NEGATIVE SLOPE OF EFFICIENCY VS [T1-TA]/IT CURVE (FRTANT)
 READ(20,*)FRTANT
C MASS FLOW RATE PER UNIT COLLECTOR AREA FOR TEST CONDITION (GTEST)
C IN KG/HR-M2
 GTEST=71.5
C INCIDENCE ANGLE MODIFIER (BZ)
 BZ=-0.10
C GRONUD REFLECTANCE (RHO)
 RHO=0.2

C NUMBER OF COLLECTOR RISERS PER PANEL (NRISER)
 READ(20,*)NRISER
C DIAMETER OF COLLECTOR RISERS (DRISE) IN METERS
 READ(20,*)DRISE
C COMBINED HEADER LENGTH PER PANEL (HEADP) IN METERS
 READ(20,*)HEADP
C DIAMETER OF COLLECTOR HEADERS (DHEAD) IN METERS
 READ(20,*)DHEAD

C LENGTH OF INLET TO COLLECTOR CONECTING PIPE (PIPE) IN METERS
 READ(20,*)PIPIN
C LENG OF OUTLET FROM COLLECTOR CONECTING PIPE (PIPE) IN METERS
 READ(20,*)PIPOUT
C THERMAL LOSS COEFFICIENT OF CONECTING PIPES (UPIPE) IN KJ/HR-M2-C
 READ(20,*)UPIPE
C DIAMETER OF CONNECTING PIPE (DPIPE) IN METERS
 READ(20,*)DPIPE
C NUMBER OF RIGHT ANGLE BENDS IN CONECTING PIPE (BENDS)
 READ(20,*)BENDS

C TANK VOLUME (TANK) IN LITERS
 READ(20,*)TANK
C HEIGHT OF STORAGE TANK (HTANK) IN METERS
 READ(20,*)HTANK
C DIAMETER OF STORAGE TANK (DTANK) IN METERS
 READ(20,*)DTANK

C REFERENCE HEIGHT FOR EASE OFREASUREMENT (H1) IN METERS
 READ(20,*)H1
C HEIGET OF COLLECTOR OUTLET ABOVE REFERENCE (H2) IN M
 READ(20,*)M2
C HEIGHT OF COECTING PIPE INLET TO STORAGE TANK ABOVE REFERENCE (H3) IN M
 READ(20,*)H3
C HEIGHT OF TANK RETURN TO COLLECTOR ABOVE REFERENCE (H5) IN M
 READ(20,*)H5
C FLUID DENSITY AT STANDART CONDITION (DENS) IN KG/M3
 DENS=1000
C FLUID THERMAL CONDUCTIVITY AT STANDART (COND) IN KJ/HR-M-C
 COND=0.6

C MAINS TEMPERATURE (TMAIN) IN C
 READ(20,*)TMAIN

```

C SET TEMPERATURE (TSET) IN C
  READ(20,*) TSET

C DAILY LOAD DRAW (DRAW) IN LITERS
  READ(20,*) DRAW

C CALCULATE COLLECTOR AREA (A) IN M2
  READ(20,*) PANELS*AP
C CALCULATE NUMBER OF COLLECTOR RISER (RISER) IN M
  RISER=(H2-H1)/SIN(B)
C CALCULATE CROSS SECTIONAL AREA OF INDIVIDUAL RISER (CSAR) IN M2
  CSAR=PI*DRISER/4
C CALCULATE TOTAL LENGTH OF HEADERS (HEAD) IN METERS
  HEADER=PANEL*HEADP
C CALCULATE CROSS SECTIONAL AREA OF INDIVIDUAL RISER (CSAR) IN M2
  CSAR=PI*DHEAT*DHEAT/4.
C CALCULATE COMBINED Length OF CONECTING PIPE
  PIPE=PIPIN+PIOUT
C CALCULATE CROSS SECTIONAL AREA OF CONNECTING PIPE (CSAP) IN M2
  CSAP=PI*DPIPE*DPIPE/4
C CALCULATE SURFACE AREA OF INLET TO COLLECTOR CONECTING PIPE IN M2
  SAINP=PI*DPIPE*PIPIN
C CALCULATE SURFACE AREA OF OUTLET FROM COLLECTOR CONNECTING PIPE IN M2
  SAOUTP=PI*DPIPE*PIPOUT
C CALCULATE CROSS SECTIONAL AREA OF STORAGE TANK (CSAT) IN M2
  CSAT=PI*DTANK*DTANK/4
C CALCULATE MASS FLOW RATE FOR TEST CONDITIONS (MTEST) IN KG/HR
  MTEST=GTEST*A
C CALCULATE HEIGHT OF TOP OF STORAGE TANK ABOVE REFERENCE (H6) IN M
  H6=HTANK*H5

C -----

C NUMBER OF DAYS IN EACH MONTH
  DATA DAYS/31.,28.,31.,30.,31.,30.,31.,31.,30.,31.,30.,31./
C AREA OF MONTH ABBREVIATIONS (AMOUNTH)
  DATA AMOUNTH/'JAN','FEB','MAR','APR','MAY','JUN','
  &           'JUL','AUG','SEP','OCT','NOV','DEC'/
  DATA AYBAR/'YEAR'/
C SET MOUNTHLY OPTIMUM COLLECTOR TILT CORRECTION (BMAXAD) FOR EVANS
C CORRELATION IN RADIANS
  DATA BMAXAD/0,506,0.3142,0.0524,-0.1745,-3840,-4363,-0.4189,-01745,
  &           0.1475,0.4014,0.5236/

C -----

C GUESS AN INITIAL VALUE FOR COLLECTOR FLOW RATE (MUSE) IN KG/HR
C TRY 15 KG/HR-M2
  MUSE=15.0*A
  KOUNT=1
C INITIALLY SET TIN=TMAIN FOR USE IN CALCULATION OF EVANS
C UTILIZABILITY PUMP ON TIME.
  TIN=TMAIN
C INITIALIZE YEARLY SUNS FOR SOLAR FRACTION TO ZERO
  FMIXYN=0.0
  FMIXYD=0.0

```


FSTRYN=0.0
FSTRYD=0.0

WRUTE(6,86)

```
86 FORMAT (1X, ' ')
WRITE(6,10)DEGL
10 FORMAT(1X, ' PHOENIX,A2.:LATITUDE=' F5.2, ' DEGREES' )
WRITE(6,102)A.B/CONV
102 FORMAT(1X, ' COLLECTOR AREA= ', F4.1, ' METERS, 5X,
& ' COLLECTOR SLOPE= ', F5.3, ' DEGREES, )
WRITE(6,101)MUSE
101 FORMAT(1X, ' INITIAL GUESSED VALUE FOR COLLECTOR FLOW RATE=',
& F7.2, ' KG/HR' )
WRITE(6,68)
WRITE(6,11)
11 FORMAT(1X, ' MONTH', ' HORIZ', ' TILTED', ' XMIN', ' YMIN', ' FMIX', ' KSTR',
& ' MUSE', ' MC/ML' )
WRITE(6,12)
12 FORMAT(1X, 7X, ' (KJ/M2-DAY)', T69, ' (KG/HR)' )

READ(10,*)
```

C -----

DO 100 M=1.12,1

C INPUT MONTHLY AVEARGE METEOROLOGICAL DATA FOR A PARTICULAR LOCATION
C (PHOENIX,AZ.) FROM LOGICAL UNIT 1C

C H IS THE MONTHLY AVERAGE DAILY SOLAR RADIATION INCIDENT ON A
C HORIZONTAL SURFACE IN KJ/M2-DAY
C TAMB IS THE MONTHLY AVERAGE AMBIENT TEMPERATURE IN C
C KT IS THE MONTHLY AVERAGE CLEARNESS INDEX

```
READ(10,11 H, TAMB, KT
1 FORMAT(T10, F5.0, O.125, F2.0, PAC, F4.2)
```

C TRANSFORM THE VALUE FOR RADIATION INCIDENT ON A HORIZONTAL SURFACE
C TO RADITION INCIDENT ON THE COLLECTOR SURFACE USING THE SUBRUONTINE
C "TRANSFORM"

```
CALLTRANSFORM(M, L, B, H, KT, HT)
```

1000 CONTINUE

C CORRECT FOR VALUE OF FRUL AND FRTAN AT FLOW RATE OTHER THAN
C ASHRAE 93-77 TEST CONDITIONS

```
FPUL=-1.0*MTEST*CP/A*LOG(1.0-(FRULT*A/MTEST/CP)
RATNUM=MUSE*CP/A/FPUL*(0.1-EXP(-1.0*A*FPUL/MUSE/CP)
RATDEN=MTEST*CP/A/FPUL*(0.1-EXP(-1.0*A*FPUL/MTEST/CP)
RATIO=RATNUM/RATDEN
FRTAN=FRTANT*RATIO
FRUL=FRULT*RATIO
```

C CORRECT FOR THERMAL LOSSES FROM CONECTING PIPES AS IN DUFFIE AND
C BECKMAN, P.357.

```

TAPRIN=1./(1.+UPIPE*SAOUTP/MUSE/CP)
FTRAN=FTRAN*TAPRIM
ULPRIM=(1.-UPIPE*SAINT/MUSE/CP+UPIPE*(SAINT+SAOUTP)/A/FRUL)
&      / (1.+UPIPE*SAOUP/MUSE/CP)
FRUL=FRUL*ULPRIM

```

```

C CALCULATE X AND Y PARAMETERS FOR USE IN F-CHART CORRELATION
C FOR THE SET OF UNITS PREVIOUSLY DEFINED, DELT IS THE NUMBER OF
C HOURS IN A DAY, AND LOAD IS THE DAILY LOAD

```

```

TREY=100
DELT=24
LOAD=DRAW*CP*(TSET-TMAIN)
XMIN=A*FRUL*(TREF-TAMB)*DELT/LOAD

```

```

C CORECTION FOR STORAGE SIZE DIFFERENT FROM STANDART SIZE
STOOR=(TANK/A/75)**-0.25

```

```

C CORECTION FOR SERVICE WATER HEATING
SWHCOR=(11.6+1.18*TSET+3.86*TMAIN-2.32*TAMB)/(100-TAMB)
XMIX=XMIX*STOOR*SWHCOR

```

```

C SET RATIO OF TAU ALPHA BAR TO TAU ALPHA NORMAL=1
C (INCIDENT ANGLE MODIFIER CONSTANT IS SET=0.)
TAURAT=1.0
MRTAU=FRTAN*TAPRIM
ULPRIM=(1.-UPIPE*SAINP/MUSE/CP+UPIPE*(SAINP+SAOUTP)/A/FRUL)
&      / (1.+UPIPE*SAOUTP/MUSE/CP)
FRUL=FRUL*ULPRIM

```

```

C CALCULATE MIXED TANK SOLAR FRACTION (FMIX) USING F-CHART CORRELATION
FMIX=1.0298YMIX-0.065*XMIX-0.246*YMIX*YMIX-0.0018*XMIX*XMIX-0.0215*
&      YMIX**3

```

```

C APPLY BERNIS COPSEY CORRECTION FOR TANK STRATIFICATION

```

```

C APPLY EVANS CORELATION TO ESTIMATE PUMP-ON TIME (PUMP)
BMAX(M)=L+BMAXAD(M)
KTP=KT*COS(0.8*(BMAX(M)-B))
EI=-4.86E-03+7.56E-03*KTP-3.81E-03*KTP*KTP
EZ=5.43E-05-1.23E-05*KTP+2.81E-06*KTP*KTP
CRIT=FRUL/FRTAB*(TIN-TAMB)/3.6

```

```

C ALLOWING CRITICAL LEVEL (CRIT) TO GO NEGATIVE
PUMP=-HT/3.6*(EI+2.*E2*CRIT)
MCML=PUMP*MUSE/DRAW
C1=1.040
C2=0.726
C3=1.564
C4=-2.760
DELX=C1*MLCM/((C2*MCML+C3+FMIX+C4*FMIX*FMIX)**2+1.)
IF(DELX.GT.1.)DELX=1.
KSTR=XMIX*(1.-DELX)

```

```

C DEFINE YMAX AS THE Y VALUE WHEN FR=1
C IN ORDER TO DO THIS, WE MUST KNOW THE VALUE OF TAU ALPHA BAR.
C FIND TAU ALPHA BAR BY SOLVING FOR RATIO OF FRTAN USE TO FRTAN TEST

```

```

C AT VERY HIGH USE FLOW RATE ESSENTIALLY THIS WILL GIVE FRTAN FOR
C FR EQUALS 1. THEN SOLVE FOR TAU ALPHA BAR (TAUBAR) KNOWING THE RATIO
C OF THE TAU ALPHA BAR TO TAU ALPHA NORMAL (TAURAT)
  MHIGH=10000
  RATNZ=MHIGH*CP/A/FPUL*(1.0-EXP(-1.0*A*FPUL/MHIGH/CP))
  RATIOZ=RATNZ/RATDEN
  TANZ=FRTANT*RATIOZ
  TAUBAR=TANZ*TAURAT
  YMAX=A*TAUBAR*HT/LOAD
  YSTR=YMIX+(YMAX-YMIX)*DELX

C CALCULATE STRATIFIED TANK SOLAR FRACTION (FSTR)
  FSTR=1.029*YSTR-0.065*XSTR-0.245*YSTR*YSTR+0.0015*XSTR+
&      0.0215*YSTR**3

C SOLAR FRACTION MUST NOT BE GREATER THAN 1.0 (OVERHEAD)
  IF(FSTR.GT.1.0) FSTB=1.0

C SOLVE FOR THE PHILLIPS' STRATIFICATION COEFFICIENT (PKS)
C BASED ON TNG PARAMETERS: EFECTIVENESS (PE) AND MIXING NUMBER (PM)

  PM=CSAT*COND*/MUSE/CP/HTANK
  PE=A*FRUL/MUSE/CP
  PKS=LOG(1./(1.-PE))/PE*(1.+PM*LOG(1./(1.-PE)))

C USING FSTR AS THE VALUE OF SOLAR FRACTION, FIND THE MEAN STORAGE TANK
C TEMPERATURE USING A CORELATION DEVELOPED FROM A LEAST SOURES CURVE FIT
C FOR A TANK (UA) VALUE=5.27 KJ/HR-C
  DIMNON=0.117*FSTR+0.356*FSTR+0.424*(FSTR**3)
  TTANK=TMAIN+DIMNON*(TSET-TMAIN)

C SOLVE FOR THE TEMPERATURE OF RETURN FLUID FROM THE TANK TO THE
C COLLECTOR 9TIN) USING PHILLPS' STRATIFICATION COEFICIENT

C NEED TO USE THE NUMBER OF HOURS OF PUMP ON TIME TO INTEGRATE (IF) TO
(HT)
  TIN=PKS*TTANK+(1.-PKS)*(FRTAB/FRUL*HT/PUMP+TAMB)

C SET THE COOLECTOR INLET TEMPERATURE TO MAINS TEMPERATURE IF PHILLIPS'
  IF(TIN,LT.TMAIN) TIN=TMAIN

C SET THECOLLECTOR INLET TEMPERATURE TO TANK TEMPERATURE IF PHILLIPS'
C GIVES A VALUE FOR (TIN) GREATERBTHAN TANK.
  IF(TIN,GT,TTANK) TIN=TTANK

C SOLVE FOR THE COLLECTOR OUTLET TEMPERATURE (TOUT) WHEN THE ABSORBER
C SOLAR RADIATION IS APPROXIMATED AS HT*TAUBAR
  TOUT=TIN*A/MUSE/CP/PUMP*(HT*FRTAB-FRUL*PUMP*(TIN-TAMB))

C USING CORELATION FOR SPECIFIC GRAVITY AND VISCOSITY OF WATER FROM
C TENSISI TYPE45, FIND THE THERMOSIPHON HEAD (THEAD) USING THE EQUATION
C FROM CLOSE, SOLAR ENERGY 6, P. 33.
  SG1=1.00026-3.806E-05*TIN-4.05E-06*TIN*TIN
  SG2=1,00026-3.806E-05*TOUT-4.05E-06*TOUT*TOUT
  SGTANK=1,00026-3.906E-05*TTANK-4.05E-06*TTANK*TTANK

```

```

C L C GRAVITATIONAL CONSTANT (GRAV) IN M/SEC2
      GRAV=9.81

      THHEAD=0.5*(SG1-SG2)*(2*(H3-H1)-(H2-H1)-(H3-H5)*(H3-H5)/(H6-H5)
C D C CALCULATE THE DIMNATIC VISCOSITY AT THE AVERAGE TANK TEMPERATURE (VIS)
C IN KG/M-SEC.
      VIS=0.1/(2.1482*(TTANK-8.435)+SORT(8078.4+(TTANK-8.435)**2))-120
C C
C -----
C MASS FLOW RATE OF WATER THROUGH CONNECTING PIPE (FLOW) IN M/SEC.
      FLOW=MUSE/(SGTANK*DENS*CSAP*3600)
C CALCULATE REYNOLDS' NUMBER IN CONNECTING PIPE (REP)
      REP=SGTANK*DENS*FLOW*DPIPE/VIS
C FRICTION FACTOR (FRICTP) IN PIPE DEPENDS ON WHETHER FLOW IS LAMINER
C - C (REYNOLDS' NUMBER < 2000.) OR TUBBULENT (REYNOLDS' NUMBER>2000)
C ACCOUNT FOR BENDS IN CONNECTING PIPE.
C - IF(REP.LT.2000) THEN
      FRICTP=64./REP
C P EQPIPE=PIPE+BENDS*30*DPIPE
C K TBENDS=0.0
      END IF

      IF(REP.GE.2000)
500 FRICTP=0.032
C N EQPIPE=PIPE
      TBENDS=BENDS
      END IF
C (
C DEVELOPINGFLOW IN CONNECTING PIPES
C I FRICTP=FRICTP*(1.+0.038/(PIPE/(REP*DPIPE))**0.964)
C
C ENTRY FROM TANK TO CONECTING PIPE
      TBENDS=TBENDS+0.5
C CROSS SECTION CHANGE AT JUCTION OF CONNECTING PIPES AND HEADER
C I IF(DPIPE.LT.DHEAD) TBENDS=TBENDS+0.667*(DPIPE/DHEAD)**4-2.667*
      & (DPIPE/DHEAD)**2+2.0
      IF(DPIPE.GT.DHEAD) TBENDS=TBENDS-0.3259*(DHEAD/DPIPE)**4-0.1784*
C ( & (DHEAD/DPIPE)**2+0.5
C EXIT FROM CONNECTING PIPE TC TANK
      TBENDS=TBENDS+1.0

      FRHDP=FRICTP*EQPIPE*FLOW*FLOW/(2*GRAV*DPIPE)+TEENDS*FLOW*FLOW/
      & (2*GRAV)
C
C ----- CONNECTING PIPE -----
C ----- RISER -----
C ASSUME EQUAL MASS FLOW TROUGH COLLECTOR RISERS (MUSER) IN KG/HR
      MUSER=MUSE/NRISE
C MASS FLOW RATE OF WATER TRUOUGH RISER (FLOWR) IN M/SEC
      FLOWR=MUSER/(SGTANK*DENS*CSAR*3600)
      RATPR=FLOWR/FLOW
C CALCUATE REYNOLDS' NUMBER IN RISER (RER)
      RER=SGTANK*DENS*FLOWR*DRISE/VIS
C FRICTION FACTOR (FRICTR) IN RISER DEPENDS ON WHETHER FLOW IS

```

```

C LAMINER (REYNOLDS' NUMBER,2000.) OR TURBULENT (REYNOLDS'NUMBER>2000.).
  IF(RER.LT.2000) FRICTR=64./RER
  IF(RER.GE.2000) FRICTR=0.032

C DEVELOPING FLOW IN RISER
  FRICTR=FRICTR*(1.+0.030/(RISER/(RER*DRISE))**0.9641

C CROSS SECTION CHANGE AT JUNCTION OF RISER AND HEADER
  IF(DRISE.LT.DHEAD) CROSSR=0.667*(DRISE/DHEAD)**4
&
  -2.667*(DRISE/DHEAD)**2+2.0
  IF(DRISE.GT.DHEAD) CROSSR=-0.3259*(DHEAD/DRISE)**4
&
  -0.1784*(DHEAD/DRISE)**2+0.5
  FRHDR=FRICTR*RISER*FLOWR*FLOWR/(8.*GRAV*DRISE)+CROSSR
&
  *FLOWR*FLOWR/(2*GRAV)

C ----- RISER -----
C -----HEADER -----

C APPROXIMATE MASS FLOW RATE TROUGHT ENTIRE LENGTH OF HEADER (MUSER) IN
C KG/HR
  MUSER =0.0
  GO 500 I=1,INT(NRISE),1
  MUSER=MUSER+MUSER+REAL(T)/NRISE
500 CONTINUE
C MASS FLOW RATE OF WATER TROUGH HEADER (FLOWH) IN M/SEC
  FLOW=MUSER/(SGTANK*DENS*CSAH*3600)
  RATNP=FLOWH/FLOW
C CALCULATE REYNOLD NUMBER IN HEADER (REH)
  REH=SGTANK*DENS*FLOWH*DHEAD/VIS
C FRICTION FACTOR (FRICTH) IN HEADER DEPENDS ON WHWETHER FLOW IS LAMINER
C (REYNOLD NUMBER<2000.) OR TURBULEN (REYNOLD NIMBER >2000.).
  IF(REH.LT.2000.) FRICTH=64.REH
  IFREH.GE.2000.) FRICTH=0.032

C DEVELOPING FLOW IN HEADER
  FRICTH=FRICTH*91.+0.038/(HEADER/(REH*DHEAD))**0.964)

C CROSS SECTION CHANGE AT JUNCTION OF HEADER AND RISER
  IF(DHEAD.LT.DRISE) CROSSH=0.667*(DHEAD/DRISE)**4-2.667
&
  *(DHEAD/DRISE)**2+2.0
  IF(DHEAD.GT.DRISE) CROSSH=-0.3259*(DRISE/DHEAD)**4-0.1784*
&
  (DRISE/DHEAD)**2+0.5

C CROSS CECTION CHANGE AT JUNCTION OF HEADER AND CONNECTING PIPE
  IF(DHEAD.LT.DPIPE) CROOSH=CROSSH+0.667*(DHEAD/DPIPE)**4-2.667*
&
  (DHEAD/DPIPE)**2+0.2
  IF(DHEAD.GT.DPIPE) CROSSH=CROSSH-0.3259*(DPIPE/DHEAD)**4-0.17784
&
  (DHEAD/DPIPE)**2+0.5
  FREDH=FRICT*HEADER*FLOW/92.*GRAV*DHEAD)+CROSSH*FLOWH*FLOWH/(2*GRAV)

END PROGRAM

```

