



**PEMANAS AIR ENERGI SURYA
UNTUK INDUSTRI MINUMAN**

Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Mesin



Disusun oleh:

Noki Setyawan

NIM : 995214098

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2005

**SOLAR WATER HEATER
FOR BEVERAGE INDUSTRY**

FINAL PROJECT

**Presented as Partial Fulfillment of the Requirements
to Obtain the Sarjana Teknik Degree
in Mechanical Engineering**



By

Noki Setyawan

Student Number : 995214098

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
ENGINEERING FACULTY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA
2005**

TUGAS AKHIR
PEMANAS AIR ENERGI SURYA
UNTUK INDUSTRI MINUMAN

Disusun oleh :

Noki Setyawan

NIM : 995214098

NIRM : 990051123109120098

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Utama :



(Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T)

Tanggal : 19 September 2004

TUGAS AKHIR
PEMANAS AIR ENERGI SURYA
UNTUK INDUSTRI MINUMAN

Dipersiapkan dan ditulis Oleh :

Noki Setyawan

NIM : 995214098

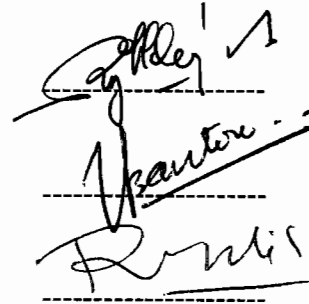
Telah dipertahankan di depan panitia penguji
Pada Tanggal 22 Desember 2005
dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji

Ketua : Yosef Agung Cahyanta, S.T, M.T


Sekretaris : Ir. Fx. Agus Unggul. S.

Pembimbing Utama : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T



Yogyakarta 18 Januari 2006
Fakultas Teknik
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta
Dekan




Ir. Greg. Heliarko, S.J., S.S., B.S.T., M.A., M.Sc.

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

No : 616 / TA / FT-USD / TM / Nopember / 2005

Nama : Noki Setyawan
NIM : 995214098
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta

Judul :

Pemanas air energi surya untuk pencuci botol pada industri minuman

Tanggal dimulai : 19 September 2004

Pembimbing II

Yogyakarta, 12:00:00 AM

Pembimbing I



Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi. Sepengetahuan saya, karya ini juga tidak terdapat karya dan pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 15 Oktober 2005

Penulis

Noki Setyawan

KATA PENGANTAR

Puji syukur serta ucapan terima kasih Kepada Tuhan Yang Maha Kasih, atas rahmat-Nya, yang dianugerahkan kepada penulis sehingga berhasil menyelesaikan penulisan tugas akhir

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Sanata Dharma Yogyakarta.

Pemanas air merupakan tema yang diambil penulis dalam menyusun tugas akhir berdasarkan minat penulis dan dengan harapan dapat menjadi bekal didalam memasuki dunia kerja.

Terwujudnya, penulisan tugas akhir ini bukan semata-mata atas usaha penulis sendiri, melainkan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu sudah sepantasnya penulis menghaturkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Ir. Greg. Heliarko, S.J, S.S, B.S.T, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
2. Yosef Agung Cahyanta, S.T, M.T selaku Ketua Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
3. Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T, selaku dosen pembimbing, atas waktu, perhatian dan kesabarannya dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. I Gusti Ketut Puja, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing akademik.

5. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.
6. Kedua Orang Tuaku, dan adikku Niko Hermawan, S.H, dan Eva yang telah memberikan saran, motifasi, dan doa hingga terselesaikannya penulisan ini, dan juga seseorang yang selalu memberiku kebahagiaan dan cinta.
7. Teman-temanku, Robert Nikodemus P, Sumaryoto, Y. Nugroho A.P, Suyud, Ant. Sigit . N, S.T, dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, dan teman-temanku Mudika Santa Teresia yang selama ini sebagai tempat berbagi canda dan tawa.

Usaha yang penulis lakukan sudah semaksimal mungkin, namun menyadari bahwa penulisan perancangan ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon maaf atas segala kekurangan dan kesalahan yang terdapat didalam penulisan ini. Saran serta kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan demi perbaikan dikemudian hari.

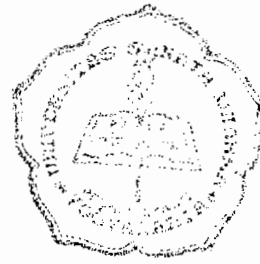
Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan yang bermanfaat, sebagaimana yang diharapkan.

Yogyakarta, 15 oktober 2005

Penulis

Noki Setyawan

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN.....	iv
HALAMAN SOAL.....	v
LEMBAR PERNYATAAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
INTI SARI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi

BAB I : PENDAHULUAN

1.1 Tinjauan Umum.....	1
1.2 Sistem Pemasas Air.....	2
1.2.1 Sistem Termosifon.....	2
1.2.2 Sitem Sirkulasi Paksa.....	3
1.2.3 Sistem Aliran Balik.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4

BAB II : DASAR TEORI

2.1 Pemanas Air Sirkulasi Paksa.....	5
2.2 Kolektor Plat Rata	
2.2.1.1 Konduksi.....	7
2.2.1.2 Konveksi.....	7
2.2.1.3 Radiasi.....	9
2.2.1 Efisiensi Sirip.....	13
2.2.2 Koefisien Kerugian Panas total.....	14
2.2.3 Faktor Efisiensi.....	20
2.2.4 Faktor Pelepas Panas.....	22
2.3 Persamaan Prestasi Thermal.....	23
2.4 Evaluasi Prestasi dari Sistem Pemanas surya Aktif.....	24

BAB III PERANCANGAN

3.1 Perhitungan Menggunakan Fungsi Sinus.....	30
a. Faktor efisiensi.....	40
b. Efisiensi sirip.....	41
c. Koefisien konveksi.....	41
d. Faktor pelepasan panas	42
e. Panas yang diserap kolektor.....	42
f. Temperatur fluida	43
g. Temperatur plat.....	43
h. Temperatur kaca.....	45

3.2 Perhitungan Menggunakan G_T rata-rata.....	48
a. Faktor efisiensi.....	56
b. Efisiensi sirip.....	57
c. Koefisien konveksi.....	57
d. Faktor pelepasan panas	58
e. Panas yang diserap kolektor.....	58
f. Temperatur fluida	59
g. Temperatur plat.....	59
h. Temperatur kaca.....	61
3.3 Evaluasi prestasi dari sistem pemanas surya aktif.....	67
3.4 Ekonomi.....	68

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan.....	70
4.2 Saran.....	71
4.3 Penutup.....	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Skema sistem air panas surya untuk fasilitas pencuci botol
- Gambar 1.2 Skema pemanas air termosifon
- Gambar 1.3 Skema pemanas air konveksi dengan larutan anti beku
- Gambar 1.2 Skema pemanas aliran balik
- Gambar 2.1 Penampang melintang suatu pemanas cairan surya
- Gambar 2.2 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran
- Gambar 2.3 Komponen radiasi pada permukaan miring
- Gambar 2.4 Penampang lintang suatu pemanas cairan surya
- Gambar 2.5 Kerugian panas kolektor
- Gambar 2.6 Sirkuit tahanan perpindahan panas melalui bagian atas kolektor
- Gambar 2.7 Koefisien konveksi
- Gambar 2.8 Aliran panas kedalam cairan
- Gambar 2.9 Bilangan nusselt
- Gambar 2.10 Grafik f untuk sistem pemanas udara

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konduktivitas termal beberapa bahan kolektor surya tertentu

Tabel 3.1. Radiasi total per jam

Tabel 3.2. Temperatur air tangki per jam

Tabel 3.3. Temperatur air dalam tangki

DAFTAR GRAFIK

- Gambar 2.7. Grafik koefisien konveksi alam h_i dalam celah udara
- Gambar 2.9. Grafik Bilangan Nusselt
- Gambar 2.10. Grafik f untuk sistem pemanas udara
- Grafik 3.1. Radiasi Per jam rata-rata
- Grafik 3.2. Temperatur Air Tangki Per jam
- Grafik 3.3. Grafik efisiensi
- Grafik 3.4. Temperatur air dalam tangki
- Grafik 3.5. Grafik efisiensi

INTI SARI

PEMANAS AIR TENAGA SURYA UNTUK INDUSTRI MINUMAN

Penggunaan energi listrik mempunyai kecenderungan meningkat sehingga kita dituntut untuk mencari sumber energi lain untuk menggantikan energi listrik. Kebutuhan akan air panas untuk keperluan produksi dalam industri, memerlukan penggunaan air panas yang cukup banyak. Sehingga diperlukan energi alternatif pengganti energi listrik, yaitu dengan energi matahari.

Disini perancangan menggunakan sistem konveksi paksa untuk mendapatkan keperluan air panas. Sistem ini terdiri dari tangki penyimpan air dingin, tangki penyimpan air panas, kolektor, dan pompa. Air dingin disirkulasikan oleh pompa. Dalam perancangan ini, digunakan beberapa data seperti : ukuran kolektor = $4\text{m} \times 2\text{m} \times 0,01\text{m}$, dengan sudut kemiringan kolektor = 60° , ukuran tangki = $1,3 \times 0,7 \text{ m}$ dengan kapasitas air dalam tangki 500 liter dan data-data lainnya. Dari hasil perhitungan diperoleh temperatur air tangki yang mencapai suhu 94°C . Dari hasil perancangan ini, apabila dipandang dari sudut ekonomi ternyata sistem yang digunakan lebih menguntungkan apabila dibandingkan dengan penggunaan tenaga listrik, dengan asumsi umur alat 15 tahun.

DAFTAR LAMPIRAN

1. TABEL SIFAT AIR
2. LEMBAR KONSULTASI
3. LEMBAR SEMINAR
4. USULAN REVISI
5. GAMBAR

BAB I

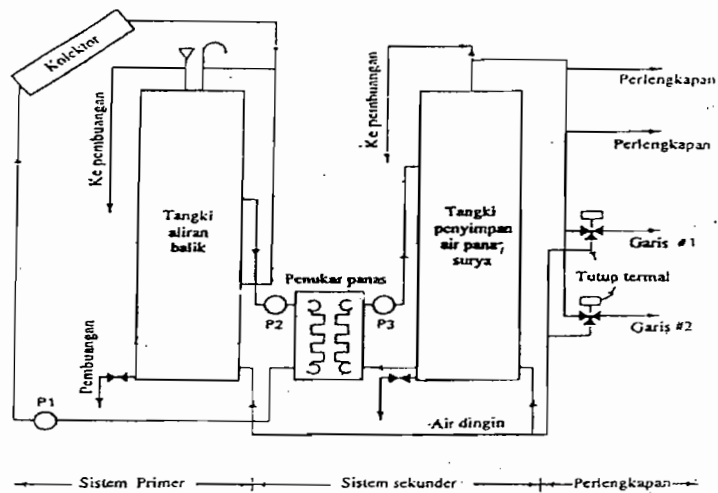
PENDAHULUAN

1.1 Tinjauan Umum

Kebutuhan akan energi yang mendukung manusia dalam kehidupan sehari-hari adalah kebutuhan akan energi alam maupun energi olahan. Salah satu contoh adalah energi listrik, energi listrik ini merupakan kebutuhan yang tidak bisa terlepas dari kebutuhan manusia tiap hari-harinya.

Kebutuhan akan energi listrik ini semakin hari terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk. Pemakaian energi listrik ini perlu menyediakan dana yang cukup mahal. Dan kapasitas yang disediakan oleh sumber pembangkit energi listrikpun sangat terbatas. Kapasitas kemampuan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik tersebut ada kemungkinan tak terpenuhi, dan dana untuk mendapatkan energi listrik tersebut terus semakin meningkat.

Untuk mengatasi hal tersebut maka sangat perlu dicari energi alternatif untuk menghemat biaya dan juga energi listrik tersebut. Salah satu energi alam yang tak ada habisnya adalah energi dari cahaya matahari. Salah satu contohnya adalah industri pada minuman untuk pencuci botol yang telah memanfaatkan energi matahari untuk memenuhi kebutuhan akan air panas, guna untuk keperluan produksi. Industri-industri minuman membutuhkan kebutuhan tersebut dengan kapasitas sangat besar. Mereka memenuhi kebutuhan akan air panas dengan menggunakan pemanas air berupa kolektor dengan kapasitas yang cukup banyak. Tujuan dari semua ini adalah untuk menghemat biaya dan energi listrik.



Gambar 1.1 Skema sistem air panas surya untuk fasilitas pencuci botol
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal.137)

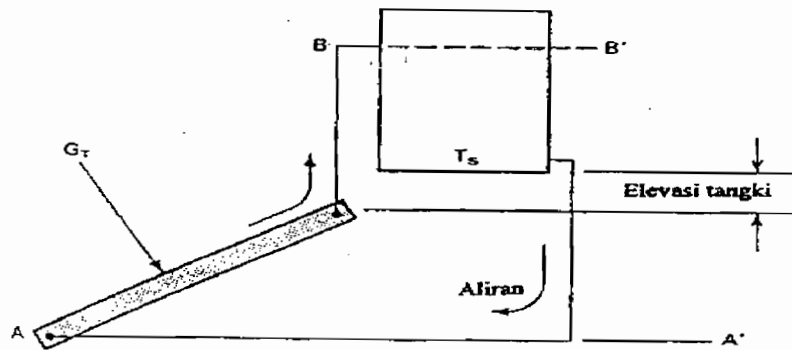
1.2 SISTEM PEMANAS AIR

Ada 3 (tiga) jenis sistem pemanas air tenaga surya yaitu:

- Sistem termosifon
- Sistem sirkulasi paksa
- Sistem aliran balik

1.2.1 Sistem Termosifon

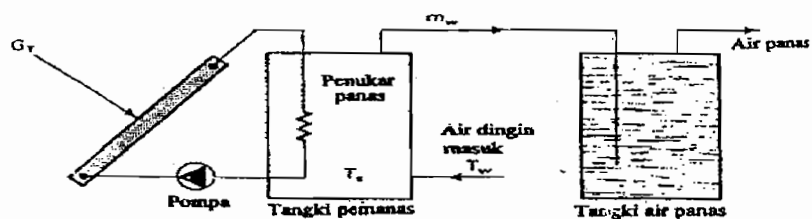
Sistem pemanas air termosifon merupakan sistem yang paling sederhana, dan efisien. Sistem ini hanya terdiri dari atas sebuah tangki penyimpanan yang ditempatkan lebih tinggi pada jarak paling sedikit 25 cm diatas bagian atas dari deretan kolektor



Gambar 1.2 Skema Pemanas Air Termosifon
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal. 115)

1.2.2 Sistem Sirkulasi Paksa

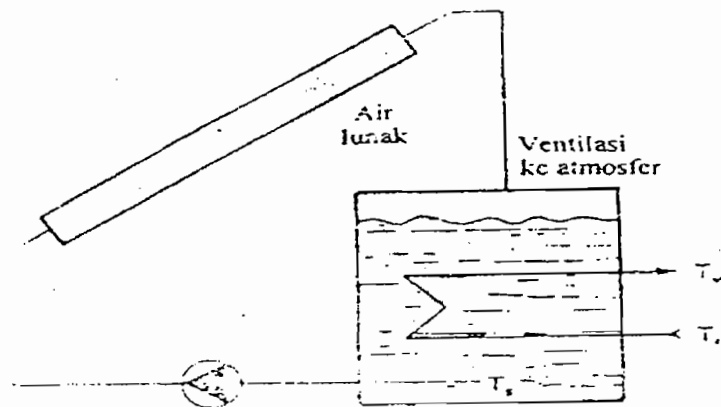
Sistem ini digunakan apabila diperlukan perlindungan terhadap pembekuan pada daerah yang beriklim dingin, sehingga larutan anti beku dapat disirkulasi melalui kolektor-kolektor tersebut dan panas yang diserap dipindah ke air di dalam tangki penyimpan dengan menggunakan sebuah penukar panas.



Gambar 1.3 Sistem pemanas Air dengan Larutan Anti Beku
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya,1995: hal. 120)

1.2.3 Sistem Aliran Balik

Sistem ini menggunakan udara tekan untuk mengembalikan air yang bersirkulasi melalui kolektor ke tangki penyimpanan. Udara tekan ini dapat dipasok oleh sebuah kompresor yang kecil. Sedang yang disirkulasi adalah air minum biasa. Sehingga dalam hal ini tidak diperlukan penukar panas.



Gambar 1.4 Sistem Aliran Balik
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal. 128)

1.3 Batasan Masalah

Disini perancangan, membahas tentang alat untuk mencuci botol pada industri minuman, dengan membahas tentang perubahan suhu yang terjadi pada kolektor akibat radiasi dari sinar matahari dan perubahan suhu air pada kolektor beserta pipanya. Dan perancangan ini tidak membahas tentang perancangan pompa.

BAB II

DASAR TEORI

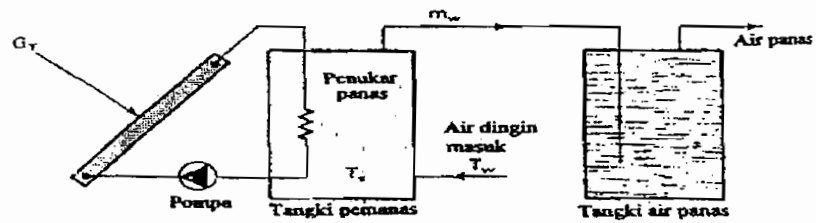
Pemanas cairan tenaga surya pada umumnya terdapat kolektor surya, yang terdiri dari pelat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik. Dimana pelat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan cairan., sebuah atau lebih penutup tembus cahaya bagian atasnya (biasanya kaca). Energi radiasi matahari yang datang ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh pelat penyerap dimana dibagian dasar dan sisi pelat penyerap tersebut diisolasi. Panas yang diterima itu diterima oleh pelat penyerap selanjutnya dikonduksikan kepipa-pipa pembawa cairan.

2.1 Pemanas Air sirkulasi konveksi paksa

Sistem ini digunakan apabila diperlukan perlindungan terhadap pembekuan pada daerah yang beriklim dingin, sehingga larutan anti beku dapat disirkulasi melalui kolektor-kolektor tersebut dan panas yang diserap dipindah ke air di dalam tangki penyimpan dengan menggunakan sebuah penukar panas (didaerah tropis tidak perlu larutan anti beku). Dan bila larutan anti-beku itu beracun diperlukan penukar panas yang terbuat dengan dinding rangkap dua.

Sistem sirkulasi air panas adalah sistem air panas yang memutarakan air dengan menggunakan pompa melalui pipa-pipa sedemikian hingga menghasilkan air panas yang stabil. Apabila sirkulasi dilakukan dengan sebuah pompa maka kita menyebutnya konveksi paksa. Sirkulasi berlanjut sampai seluruh sistem kira-kira

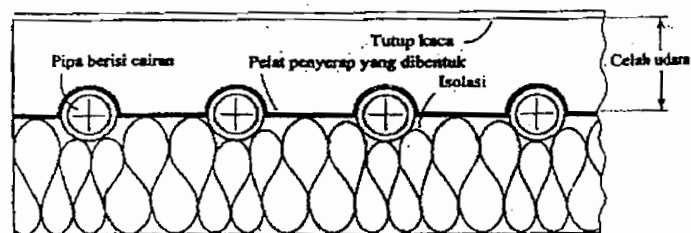
mencapai temperatur yang uniform.



Gambar 1.3. Sistem pemanas Air dengan Larutan Anti Beku
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal. 120)

2.2. Kolektor Surya Pelat Rata

Pemanas cairan tenaga surya pada umumnya terdiri dari selembaran bahan konduktif termal yang disebut pelat penyerap yang menyambung pipa-pipa atau pembawa cairan pemindah panas, biasanya air. Radiasi surya ditransmisikan melalui penutup yang transparan dan diubah menjadi panas pada pelat penyerap tersebut. Bagian dasar dan sisi-sisinya diisolasi untuk mengurangi kerugian panas.



Gambar 2.1. Penampang lintang suatu pemanas cairan surya
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal 42)

Cara perpindahan panas dalam sebuah alat pemanas cairan surya, dapat terjadi melalui konduksi, konveksi, maupun radiasi. Panas mengalir secara konduktif sepanjang pelat penyerap dan melalui dinding saluran. Kemudian panas dipindahkan ke fluida dalam saluran dengan cara konveksi. Pelat penyerap yang panas itu melepaskan panas ke pelat penutup kaca (umumnya menutupi kolektor) dengan cara konveksi alamiah dan dengan cara radiasi. Beberapa cara perpindahan panas yaitu:

2.2.1.1 Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor yang melalui media padat. Panas mengalir dari temperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan kalor dinyatakan dengan hukum Fourier. (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995 : 8)

$$q = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) W (\text{watt}) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan :

k : konduktivitas termal $W/(m^2.k)$

A : luas penampang tegak lurus pada aliran panas, m^2 .

dT/dx : gradien temperatur dalam aliran panas, K/m .

Konduktivitas termal dari beberapa logam dan non logam yang di gunakan dalam konduktivitas kolektor didapat dari tabel berikut:

Tabel 2.1. 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

(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal 45)

2.2.1.2 Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan energi dalam bentuk kalor antara suatu permukaan dan fluida yang berada di atasnya. Perpindahan kalor konveksi dapat dibagi menjadi dua macam yaitu :

- Konveksi paksa

Konveksi paksa adalah konveksi dengan bantuan fluida yang bergerak di atasnya. Konveksi paksa bergantung pada bentuk dan cara paksaan. Aliran

konveksi paksa terdiri dari aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar terjadi pada arus berkecepatan kecil sehingga partikel zat bergerak menurut garis yang kira-kira sejajar, berbentuk lengkungan kontinyu yang mengikuti bentuk saluran. Pada kecepatan yang besar partikel zat bergerak secara bergolak dan gerakan ini disebut turbulen.

- Konveksi alamiah (termosifon)

Konveksi alamiah adalah perpindahan kalor konveksi terjadi karena partikel zat yang bertemperatur tinggi berpindah tempat secara mengalir sehingga dengan sendirinya terjadi perpindahan kalor melalui perpindahan massa. Aliran zat atau fluida dapat berlangsung sendiri sebagai akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur. Pada umumnya perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan hukum perpindahan Newton sebagai berikut (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995 : 9)

$$q = hA(T_w - T) \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan :

h : Koefisien konveksi, $W/(m^2.k)$

A : Luas permukaan, m^2 .

T_w : Temperatur dinding, $^{\circ}K$.

T : Temperatur fluida, $^{\circ}K$.

2.2.1.3 Radiasi

Ada beberapa jenis radiasi electromagnetik, radiasi termal adalah salah satu diantaranya dan radiasi surya merupakan bagian dari radiasi termal. Radiasi

ini akan merambat dengan kecepatan cahaya, 3×10^{10} m/s. Kecepatan ini sama dengan hasil perkalian panjang gelombang dengan frekuensi radiasi. Persamaan diperoleh (J. P. Holman, Perpindahan Kalor , 1994 : 341):

$$c = \lambda \cdot \nu \dots\dots\dots(2-3)$$

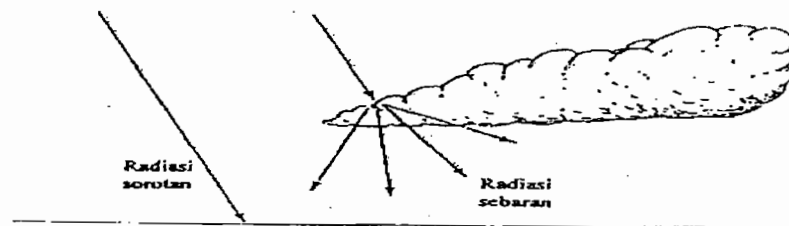
Dengan :

c : kecepatan cahaya (m/s)

λ : panjang gelombang (μm)

ν : frekuensi

Satuan λ boleh menggunakan cm, angstrom ($1\text{A} = 10^{-8}$ cm) atau micrometer ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$). Radiasi surya adalah radiasi gelombang pendek yang diserap oleh pelat penyerap sebuah kolektor surya. Dimana radiasi global yang tersedia diluar atmosfer bumi sebesar 1353 W/m^2 . Akan tetapi radiasi ini berkurang jumlahnya karena penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet); karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi matahari yang datang secara langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai sebaran.



Gambar 2.2. Radiasi sorotan dan radiasi sebaran
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995: hal 18)

Selain radiasi sorotan dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi α (albeldo) dari permukaan yang berdekatan itu dan kemiringan permukaan yang menerima.

Untuk suatu permukaan, bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi itu dipantulkan, sebagian diserap, dan sebagian lagi diteruskan oleh benda yang transparan.

Radiasi sorotan diperoleh dari selisih antara pengukuran radiasi total dan sebaran untuk suatu lokasi tertentu, sehingga diperoleh (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 19) :

$$I = I_b + I_d \dots \dots \dots (2-4)$$

Dengan:

I = radiasi total

I_b = radiasi sorotan

I_d = radiasi sebaran

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per-jam pada sudut masuk normal adalah (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 30) :

$$I_{bn} = \frac{I_b}{\cos \theta_z} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dengan :

I_b = radiasi sorotan pada suatu permukaan horizontal

θ_z = sudut zenit

Dengan demikian, untuk suatu permukaan yang dimiringkan dengan sudut β terhadap bidang horizontal adalah :

$$I_{bT} = I_{bn} \cos \theta_T$$

Dimana θ_T adalah sudut masuk, dan didefinisikan sebagai sudut antara arah sorotan pada sudut masuk normal dan arah komponen tegak lurus pada permukaan bidang miring.

Persamaan sudut masuk adalah (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 32) :

$$\cos \theta_T = \sin \delta \sin (\varnothing - \beta) + \cos \delta \cos (\varnothing - \beta) \cos \omega \dots \dots \dots (2-6)$$

Persamaan sudut deklinasi (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 28) :

$$\delta = 23,45 \sin \left(360x \frac{284 + n}{365} \right) \dots \dots \dots (2-7)$$

Persamaan sudut zenith (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 27) :

$$\cos \theta_z = (\sin \delta \cdot \sin \varnothing) + (\cos \delta \cdot \cos \varnothing \cdot \cos \omega) \dots \dots \dots (2-8)$$

Dengan :

\varnothing = posisi garis lintang suatu daerah

n = hari dari tahun yang bersangkutan

ω = sudut jam

Radiasi sebaran atau disebut radiasi langit adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan area itu berasal dari seluruh bagian hemisfer langit.

Radiasi sebaran pada permukaan miring dinyatakan dengan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 34) :

$$I_{dT} = I_d \left(\frac{1,0 + \cos \beta}{2} \right) \dots \dots \dots (2-9)$$

Distribusi isotropik dapat mengakibatkan kesalahan RMS sebesar kurang lebih 18% bagi besarnya radiasi total per jam, sehingga Hay mengusulkan suatu metode lain untuk menghitung komponen sebaran pada suatu permukaan miring, dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 34) :-

$$I_{dT} = I_d \left\{ \left[\frac{I_b}{I_{sc} (\cos \theta_z)^2} \right] \cos \theta_T + \left(1,0 - \frac{I_b}{I_{sc} \cos \theta_z} \right) \left(\frac{1,0 + \cos \beta}{2} \right) \right\} \dots \dots (2-10)$$

Selain komponen radiasi langsung dan sebaran, permukaan penerima juga menerima radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan. Jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi (α) dari permukaan yang berdekatan itu dan kemiringan permukaan yang menerima.

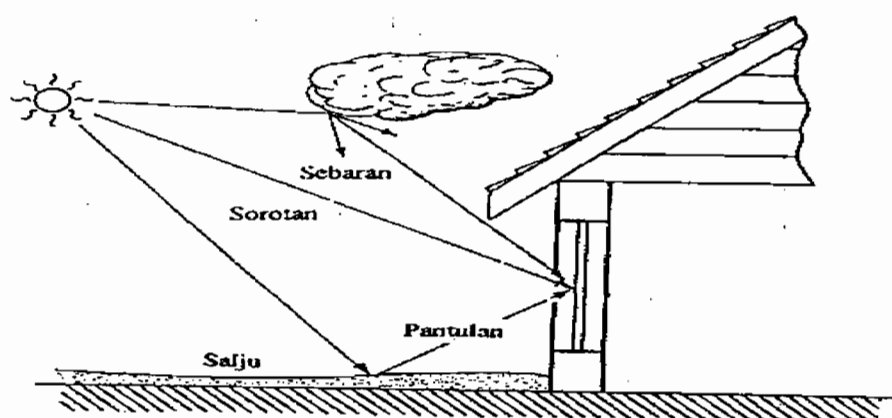
Reflektansi (α) dianggap 0,20 - 0,25 untuk permukaan tanpa salju dan 0,7 untuk lapisan salju yang baru turun.

Radiasi pantulan dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 37):

$$I_{rT} = \alpha(I_b + I_d) \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \dots \dots \dots (2-11)$$

Sehingga radiasi total pada bidang miring dapat dihitung dengan cara menjumlahkan ketiga radiasi tersebut diatas, yaitu (W.Arismunandar:1995, 30):

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{rT} \dots \dots \dots (2-12)$$



Gambar 2.3. Komponen radiasi pada permukaan miring (Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya 1995; hal 35)

2.2.1 Efisiensi Sirip (F)

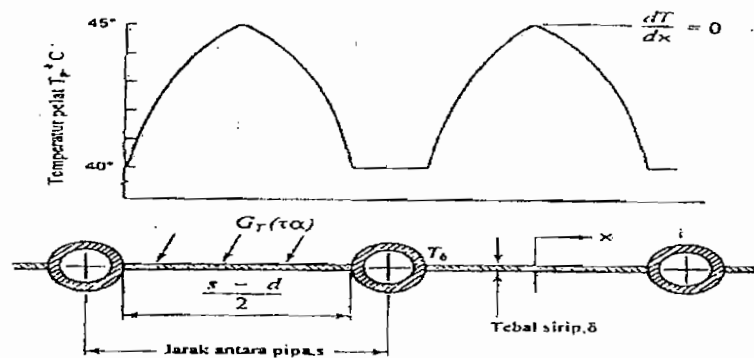
Efisiensi sirip adalah satu-satunya parameter yang paling penting dalam perancangan kolektor surya jenis cairan. Pelat penyerap memindahkan panasnya secara konduksi ke pipa-pipa yang secara mekanis dan termal tersambung pada pelat tersebut.

Kerugian panas dari penyerap akan menjadi minimum jika seluruh sirip ada pada T_b . Hal ini tidak mungkin, namun demikian dalam sebuah kolektor yang dirancang dengan sangat baik, selisih temperatur $T_{maks} - T_b$ dibuat sekecil

mungkin. Hal ini dapat dicapai dengan memilih sebuah lembar penyerap dengan konduktifitas termal (k) yang baik, dengan ketebalan (d) yang cukup memadai, dan dengan alur aliran panas $(s-d)/2$ sependek mungkin.

Efisiensi sirip didapat dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:43):

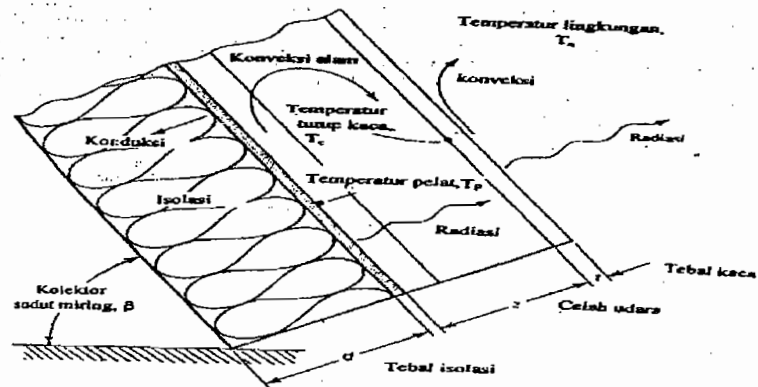
$$F = \frac{\tanh \sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \cdot \left(\frac{s-d}{2} \right)}{\sqrt{\frac{U_L}{k \cdot \delta}} \cdot \left(\frac{s-d}{2} \right)} \dots \dots \dots (2-13)$$



Gambar 2.4. Penampang lintang suatu pemanas cairan surya (Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995: hal. 43)

2.2.2 Koefisien kerugian panas total (U_L)

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



Gambar 2.5 Kerugian panas kolektor

(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995: hal 47)

Tahanan total dinyatakan sebagai berikut (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:47)

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{h_i + h_{ri}} + \frac{t}{k} (kaca) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \dots\dots\dots(2-14)$$

Dapat ditulis juga dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 201) :

$$U_1 = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,03}} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\left[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p) \right]^{-1} + \left[\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right] - N} \dots\dots\dots (2-15)$$

Dengan:

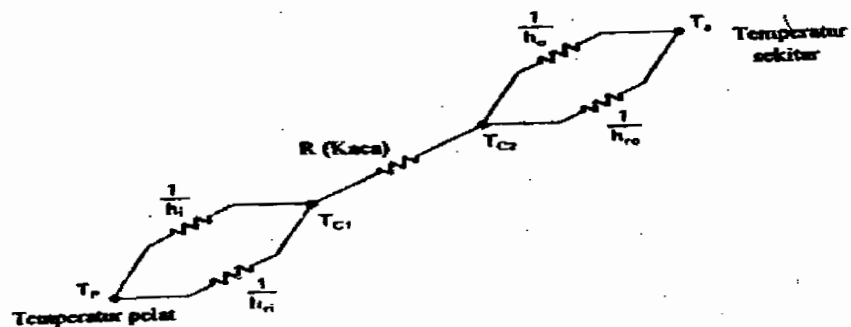
- N = Jumlah penutup
- f = $(1 - 0,04 h_o + 0,0005 h_o^2) (1 + 0,091 N)$
- C = $250 [1 - 0,0044 (\beta - 90^\circ)]$
- h_i = koefisien konveksi (alam) dalam (W/m².°K)

h_{ri} = koefisien radiasi (ekivalen) dalam ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

R (kaca) = harga R dari kaca, tebal/ konduktivitas termal ($t/K; m^2 \cdot ^\circ K/W$)

h_o = koefisien konveksi luar ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

h_{ro} = koefisien radiasi (ekivalen) luar ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)



Gambar 2.6. Sirkuit tahanan perpindahan panas melalui bagian atas kolektor (Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, 1995: hal 48)

h_i Diperoleh dari gambar 2.6 dengan terlebih dahulu menghitung fungsi-fungsi sebagai berikut (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:48)

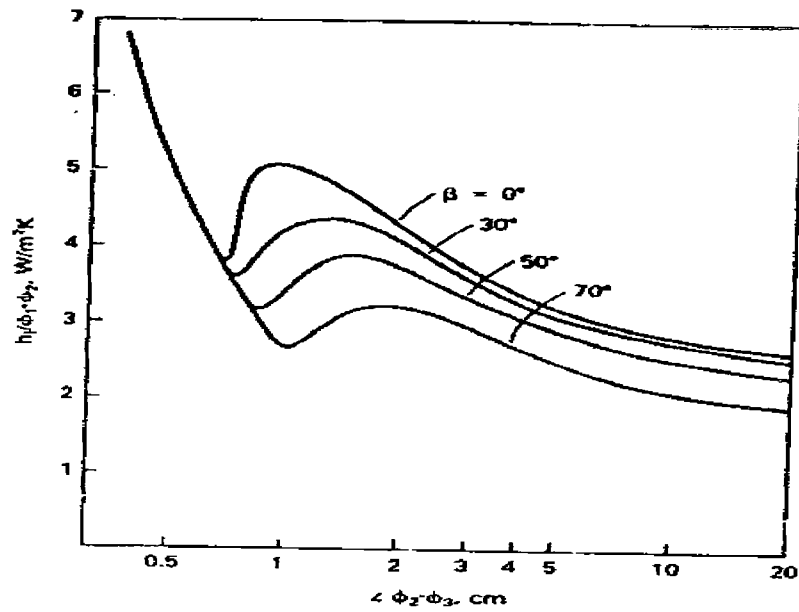
$$\phi_1 = \frac{137}{(T_m + 200)^{1/3} \cdot T_m^{1/2}} \dots\dots\dots (2-16)$$

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

$$\phi_3 = \frac{1428(T_m + 200)^{2/3}}{T_m^2} \dots\dots\dots (2-18)$$

Dengan temperatur rata-rata :

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2} \dots\dots\dots (2-19)$$



Gambar 2.7. Koefisien konveksi alam h_i dalam celah udara
 (Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995: Hal 49)

Dengan :

- T_p : temperatur plat (K)
- T_c : Temperatur kaca (K)

Dari gambar 2.7, untuk $\beta = 60$ diperoleh Persamaan :

$$\frac{h_i}{\phi_1 \phi_2} = \text{hasil}(z \phi_2 \phi_3) \dots \dots \dots (2-20)$$

Koefisien radiasi dalam h_{ri} dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 50):

$$h_{ri} = \frac{\sigma \cdot (T_p^4 + T_c^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) \cdot (T_p - T_c)} \dots \dots \dots (2-21)$$

Koefisien konveksi luar h_o dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 51):

$$h_o = 5,7 + (3,8).V \dots\dots\dots(2-22)$$

Dengan V : Kecepatan angin (m/dt)

Koefisien radiasi luar ekivalen (h_{ro}) dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 51);

$$h_{ro} = \frac{\epsilon_c \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{langit}^4)}{T_c - T_{langit}} \dots\dots\dots(2-23)$$

Dimana temperatur langit (T_{langit}) diperkirakan oleh Swinbank sebagai (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 51):

$$T_{langit} = 0,0552 \cdot (T_a^{3/2}) \dots\dots\dots (2-24)$$

Dengan T_a : Temperatur lingkungan

Koefisien kerugian atas U_L ditentukan dengan menambah koefisien kerugian atas U_t dengan koefisien kerugian bawah U_b (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 51):

$$U_b = \frac{1}{R} = \frac{k}{t} \dots\dots\dots(2-25)$$

Dengan k : konduktifitas termal kaca (W/m.K)

t : tebal kaca (m)

Sehingga koefisien kerugian panas total : (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 52)

$$U_L = U_b + U_t \dots\dots\dots (2-26)$$

Temperatur pelat kolektor (T_p) adalah (Lundre, Peter J: 1980, 189) :

$$T_{p,m} - T_{f,m} = q_u \cdot R_{p-f} \dots\dots\dots(2-27)$$

Dimana :

$$R_{p-f} = \frac{1}{h \cdot \pi \cdot d_i \cdot n \cdot L} \dots \dots \dots (2-28)$$

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q_u}{U_L F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right] \dots \dots \dots (2-29)$$

$$q_u = F_R [Q (\tau \alpha) - U_L (T_c - T_a)] \dots \dots \dots (2-30)$$

Dengan:

h = koefisien konveksi

d_i = diameter dalam (m)

n = jumlah pipa

L = panjang pipa (m)

Temperatur kaca penutup ditulis dalam persamaan :

$$T_C = T_P - \frac{U_t(T_P - T_a)}{h_i + h_{ri}} \dots \dots \dots (2-31)$$

Dengan :

T_p = temperatur pelat (°C)

U_t = kerugian atas (W/m²)

T_a = temperatur sekitar (°C)

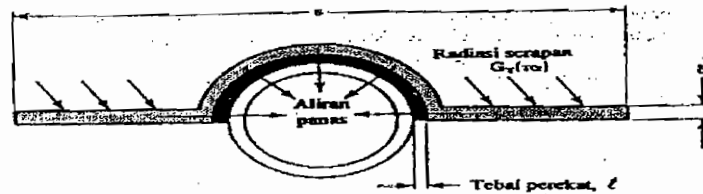
h_i = koefisien konveksi alam

h_{ri} = koefisien konveksi

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

efisiensi biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur. Fluida masuk T_i yang relatif mudah dikontrol dan diukur selama pengujian dan pengoprasian.



Gambar 2.8. Aliran panas kedalam cairan
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995: hal 54)

Faktor efisiensi dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 55):

$$F' = \frac{1}{U_L} \dots \dots \dots (2-32)$$

$$s. \left[\frac{1}{U_L \cdot \{(s-d) \cdot F + d\}} + \frac{1}{\frac{k_p \cdot b}{l}} + \frac{1}{h \cdot \pi \cdot d_i} \right]$$

Dengan :

- K_p : Konduktifitas termal perekat (W/m.K)
- b : Panjang perekat (m)
- l : Tebal perekat (m)
- d_i : Diameter dalam pipa (m)
- h : Koefisien konfeksi fluida (W/m².K)

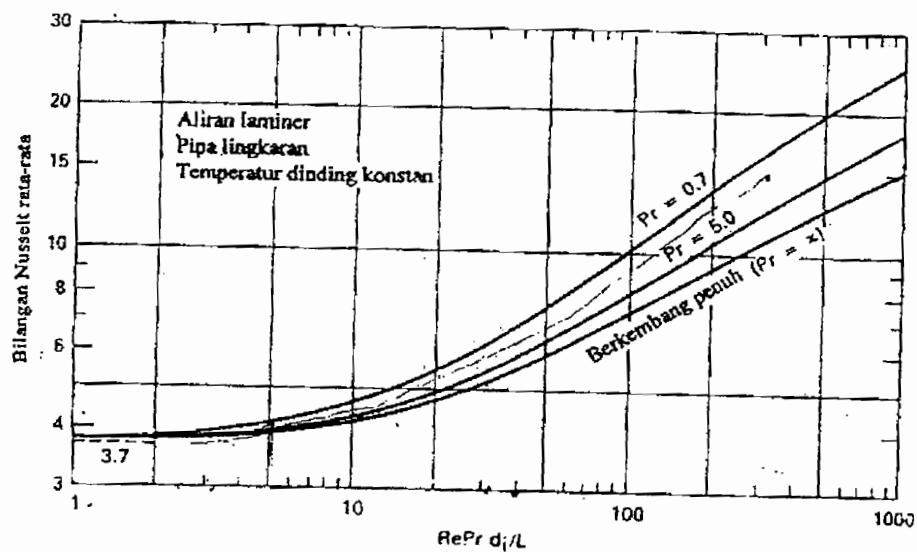
h Dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 56):

$$h = N_u \cdot \frac{k}{d_i} \dots \dots \dots (2-33)$$

Dengan

N_u : Bilangan Nusselt (dicari dengan gambar 2.10)

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



Gambar 2.9. Bilangan Nusselt

Dalam pipa pendek untuk berbagai bilangan Prandtl
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Tenaga Surya, 1995 : hal 9)

2.2.4 Faktor pelepas panas (F_R)

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

Apabila kerugian panas dinyatakan sebagai fungsi temperatur fluida masuk T_i maka kerugian tersebut dinyatakan sebagai :

$$U_L.(T_i - T_c)$$

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

Faktor pelepas panas dinyatakan dengan Persamaan:(Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 58)

$$F_R = \frac{G.C_p}{U_L} \left[1 - \exp - \left(\frac{U_L.F'}{G.C_p} \right) \right] \dots\dots\dots(2-34)$$

Pinalti penukar panas (F_R') dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 58):

$$\frac{F_R'}{F_R} = \left[1 + \frac{A_C F_R U_L}{m C_p} \left(\frac{1}{\epsilon_{HX}} - 1 \right) \right]^{-1} \dots\dots\dots(2-35)$$

Dengan:

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

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

Apabila keluaran ini dibagi dengan masukan, yaitu masukan radiasi pada kolektor, perbandingan yang dihasilkan adalah (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995: 68) :

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) \dots \dots \dots (2-36)$$

2.3. Persamaan Prestasi Termal

Laju penyimpanan panas dalam tangki, yang dianggap berada didalam ruangan adalah $m_s c_s (dT_s / d\theta)$, dan sama dengan panas yang diserap oleh kolektor-kolektor (Q_u) dikurangi kerugian panas dari tangki (Q_{env}), atau dengan mengabaikan kerugian-kerugian panas dari pipa-pipa penghubung (Q_L).

Prestasi termal dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:117) :

$$m_s \cdot c_{ps} \cdot \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = A_c F' [(\tau \alpha) G_{T(maks)} \sin \omega \theta - U_L (T_s - T_a)] - U_s A_s (T_s - T_r) \dots \dots \dots (2-37)$$

Dengan :

U_s = koefisien kerugian tangki penyimpan ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A_s = luas permukaan tangki (m^2)

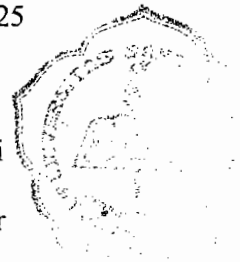
A_c = luas bidang kolektor (m^2)

T_r = temperatur lingkungan dalam ruangan ($^\circ C$)

F' = faktor efisiensi.

T_s = temperatur air dalam tangki ($^\circ C$)

$$G_T = 3,76 \sin \frac{\pi \theta}{12} MJ / m^2$$



Dalam Persamaan diatas digunakan faktor efisiensi (F') sebagai pengganti faktor pelepas panas (F_R). Oleh karena itu kita menggunakan temperatur air kolektor rata-rata $(T_1 - T_0) / 2$ sebagai pengganti temperatur masuk.

2.4. Evaluasi Prestasi dari Sistem Pemanas Surya Aktif

Parameter X dan Y

Parameter X dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:150) :

$$X = A_c F_R U_L (100^\circ\text{C} - T_a) \frac{\Delta t}{L} \dots\dots\dots(2-38)$$

Parameter Y dinyatakan dengan Persamaan (Prof. Wiranto Arismunandar, 1995:150) :

$$Y = A_c F_R (\tau\alpha)_n \frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n} H_T \frac{N}{L} \dots\dots\dots(2-39)$$

Dengan :

T_a = Temperatur lingkungan rata-rata tiap bulan

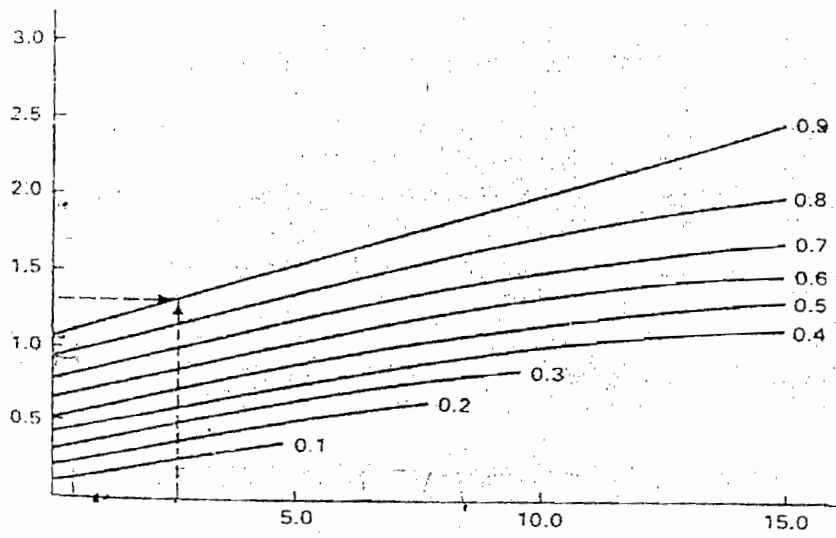
A_t = Jumlah detik dalam satu bulan

L = Beban pemanas total

H_T = Radiasi masuk harian rata-rata setiap bulan (J/m^2)

N = Jumlah hari dalam satu bulan

$\frac{\tau\alpha}{(\tau\alpha)_n}$ = Hasil perkalian transmitansi-absorptansi rata-rata bulanan



Gambar 2.10. Grafik f untuk sistem pemanas udara
(Prof. Wiranto Arismunandar, Teknologi Rekayasa Surya, hal 149)

BAB III

PERANCANGAN

Asumsi:

Diketahui data-data berikut ini:

(Pelat kolektor dari Tembaga dengan 40 buah pipa paralel)

Ukuran kolektor = 2000 x 4000 x 100 mm

Sudut kemiringan pelat kolektor = 60°

Diameter pipa dalam kolektor (D) = 12,5 mm

(d) = 10,5mm

Bahan pipa dalam kolektor = tembaga

Diameter pipa masuk ke kolektor (D_i) = 25 mm

(d_i) = 23 mm

Bahan pipa masuk kolektor = tembaga

Kapasitas tangki = 500 liter

(asumsi : untuk mencuci botol pada bak untuk 1250 botol, memakai air

@botol 400 ml air)

Ukuran bak = 2 x 0,8 x 0,8 m

Ukuran tangki = 0,7 x 1,3 m

Temperatur awal air = 27°C

Konduktivitas termal tembaga (k) = 385 W/mK

Konduktivitas termal isolasi papan serat (K) = 0,043 W/mK

Konduktivitas termal perekat karet alam 70 durometer (K_a) = 0,17W/mK

Laju aliran massa (m)	= 34 liter/menit
Tebal Sirip (δ)	= 3×10^{-3} m
Sela antar pipa (s)	= 0,0854 m
Tebal isolasi papan kaca serat (t)	= 0,05 m
Sela antara pelat dan penutup (z)	= 0,025 m
Panjang perekat (b)	= $18 \cdot 10^{-3}$ m
Tebal perekat (l)	= $1 \cdot 10^{-4}$ m
Emisivitas tembaga (ϵ_p)	= 0.09
Emisivitas kaca (ϵ_c)	= 0.94

Data hitungan dari jam 06.00 -- 18.00

Radiasi masuk (G_t) didapat dari persamaan :

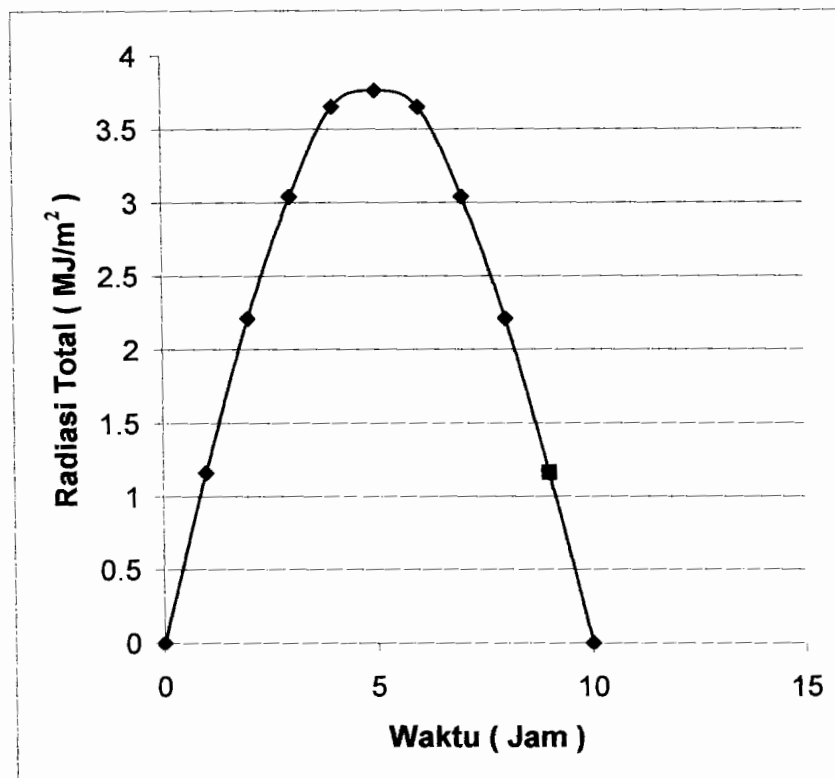
$$G_t = 3,76 \sin \frac{\pi\theta}{10} \text{ MJ/m}^2$$

Dengan θ = jam setelah mata hari terbit

Sehingga didapat :

Tabel 3.1. Radiasi total per jam

WAKTU	θ (jam)	G_T (MJ/m ²)
07.00	0	0
08.00	1	1,16
09.00	2	2,21
10.00	3	3,04
11.00	4	3,65
12.00	5	3,76
13.00	6	3,65
14.00	7	3,04
15.00	8	2,21
16.00	9	1,16
17.00	10	0



Grafik 3.1. Radiasi Per jam rata-rata

Sehingga G_T rata-rata adalah:

$$= \frac{0 + 1,16 + 2,21 + 3,04 + 3,65 + 3,76 + 3,65 + 3,04 + 2,21 + 1,16 + 0}{10}$$

$$= 2,388 \text{ MJ/m}^2$$

Dengan :

Luas netto kolektor (A_c)	= 8m^2
Faktor efisiensi (F^i)	= 0,96
Pemancaran-penyerapan produk ($\tau\alpha$)	= 0,8
Koefisien kerugian kalor (U_L)	= $3,0\text{W}/(\text{m}^2.\text{k})$
Massa air dalam tangki (m_s)	= 500 liter = 500 kg

Panas jenis fluida (C_s)	= 4,175 KJ/Kg ² °C
Temperatur luar ruangan (T_r)	= 30°C
Temperatur dalam ruangan (T_a)	=27°C
Harga untuk penutup tunggal (b_o)	= 0,2
Koefisien kerugian tangki penyimpanan (U_s)	= 0,205 W/(m ² .k)
Luas tangki penyimpanan (A_s)	= 2,86 m ²
G_T rata-rata	= 2,388 MJ/m ²
	= 2388 KJ/m ²
	= 663,33 W/m ²

3.1 Perhitungan dengan menggunakan fungsi sinus

Dengan memasukkan kepersamaan:

$$M_s C_s \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = A_c F^2 (\tau \alpha) G_{T(\text{maks})} \sin \omega \theta - U_L (T_s - T_a) - U_s A_s (T_s - T_a)$$

Diperoleh:

$$500 \cdot (4,175) \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 8 \cdot 0,96 \left[(0,8) \cdot 3760 \sin \left(\frac{\pi \theta}{10} \right) - 3(T_s - 27) \right] - 0,2025 \times 2,86 (T_s - 30)$$

$$2087,5 \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 7,68 \left[3008 \sin \left(\frac{\pi \theta}{10} \right) - 3T_s + 81 \right] - 0,58T_s + 17,38$$

$$2087,5 \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 23101,44 \sin \left(\frac{\pi \theta}{10} \right) - 23,62T_s + 639,46$$

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta}\right) = 11,07 \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) - 0,01T_s + 0,31$$

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta}\right) + 0,01T_s = 11,07 \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) + 0,31$$

dengan: $I = e^{0,01\theta}$

Didapatkan:

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta}\right) \cdot e^{0,01\theta} + 0,01 T_s \cdot e^{0,01\theta} = 11,07 \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) + 0,31$$

$$T_s \cdot e^{0,01\theta} = 11,07 \int (e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)) d\theta + 0,31 \int (e^{0,01\theta}) d\theta + C$$

1. Untuk $\int (e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)) d\theta$

$$u = e^{0,01\theta} \qquad \qquad \qquad dv = \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)$$

$$du = 0,01 e^{0,01\theta} d\theta \qquad \qquad \qquad v = -\left(\frac{10}{\pi}\right) \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)$$

$$u \cdot v - \int v \cdot du = -\left(\frac{10}{\pi}\right) e^{0,01\theta} \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) + \left(\frac{10 \times 0,01}{\pi}\right) \int e^{0,01\theta} \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta$$

2. Untuk $\int e^{0,01\theta} \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta$

$$u = e^{0,01\theta} \qquad \qquad \qquad dv = \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)$$

$$du = 0,01 e^{0,01\theta} d\theta \qquad \qquad \qquad v = \left(\frac{10}{\pi}\right) \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)$$

$$u.v - \int v.du = \left(\frac{10}{\pi}\right) e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) - \left(\frac{10 \times 0,01}{\pi}\right) \int e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta$$

Persamaan 1 dan 2 disubsitusikan menjadi:

$$\int e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta = \left(\frac{10 \times 0,01}{\pi}\right) \cdot \left(\frac{\pi\theta}{10}\right) \times e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) - 0,01 \int \left(\frac{10}{\pi}\right) e^{0,01\theta}$$

$$\sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta - \left(\frac{10}{\pi}\right) e^{0,01\theta} \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right)$$

$$\int e^{0,01\theta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) d\theta = e^{0,01\theta} \left[\frac{0,01 \sin\frac{\pi\theta}{10} - \frac{\pi}{10} \cos\frac{\pi\theta}{10}}{0,01^2 + \left(\frac{\pi}{10}\right)^2} \right]$$

Sehingga:

$$T_s \cdot e^{0,01\theta} = 11,07 \cdot e^{0,01\theta} \left[\frac{0,01 \sin\frac{\pi\theta}{10} - \frac{\pi}{10} \cos\frac{\pi\theta}{10}}{0,01^2 + \left(\frac{\pi}{10}\right)^2} \right] + 31 \cdot e^{0,01\theta} + C$$

Dibagi $e^{0,04\theta}$

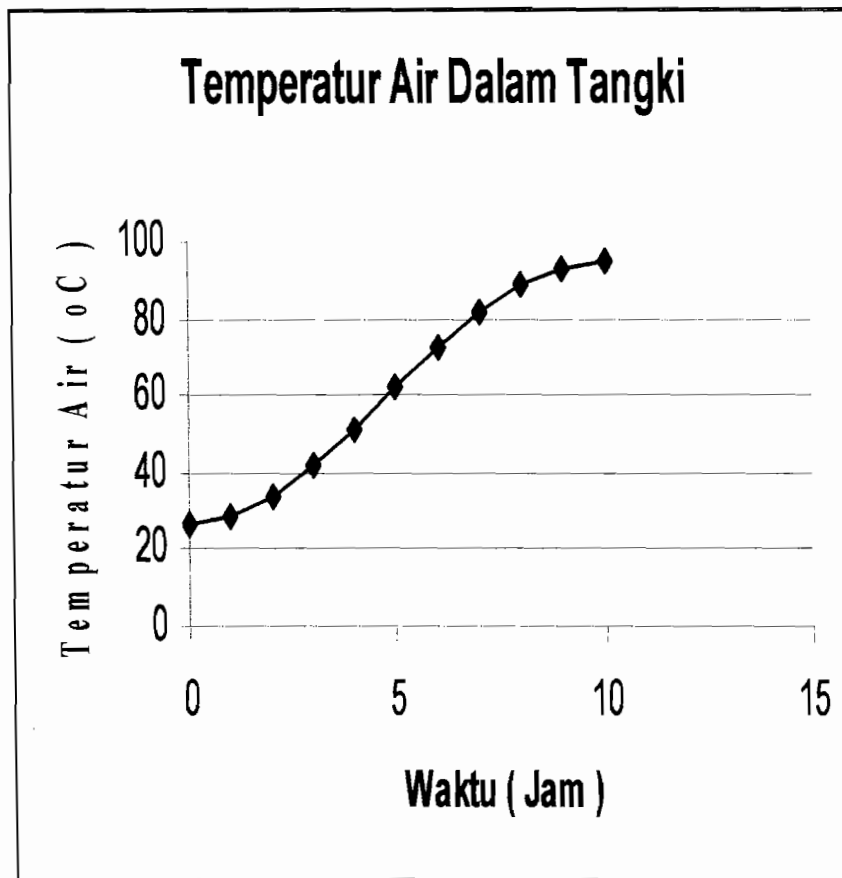
$$T_s = 1,16 \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) - 35,20 \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) + 31 + C \cdot e^{-0,01\theta}$$

Untuk $T_s = 27^\circ\text{C}$ dan $\theta = 0$

$$27 = 0 - 35,20 + 31 + C$$

$$C = 31,20$$

$$T_s = 1,16 \sin\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) - 35,20 \cos\left(\frac{\pi\theta}{10}\right) + 31 + 31,20 e^{-0,01\theta}$$



Grafik 3.2. Temperatur Air Tangki Per jam

Asumsi awal : $(U_L) = 5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

1. Faktor efisiensi (F')

Dari Persamaan (2-32)

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left(\frac{1}{U_L \left\{ (s-d)F + d \right\}} + \frac{1}{k_p x b} + \frac{1}{h \pi d_1} \right)}$$

F' =

$$0,0854 \left(\frac{1}{5 \{ (0,0854 - 0,0125) 0,99 + 0,0125 \}} + \frac{1}{\frac{0,17 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4}}} + \frac{1}{336,79 \times \pi \times 0,0105} \right)$$

$$= 0,95$$

2. Efisiensi sirip (F)

Dari Persamaan (2-13) diperoleh:

$$= \sqrt{\frac{U_L}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{5}{385 \times 5 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{0,0854 - 0,0125}{2} \right)}$$

$$= 0,19$$

$$F = \frac{\tanh 0,19}{0,19}$$

$$= 0,99$$

3. Koefisien konveksi (h)

Dari Persamaan (2-33) diperoleh:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d_1}$$

$$m = 34 \text{ liter/menit}$$

$$= 0,567 \text{ dm}^3/\text{detik}$$

$$= 5,67 \times 10^{-1} \text{ kg/detik}$$

$$\text{Laju aliran perpipa} = \frac{0,567}{40} = 0,014$$

5. Mencari nilai q_u :

Dari Persamaan (2-30) diperoleh:

$$Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$q_u = F_R \cdot A_C [\rho(\tau\alpha) - U_L(T_c - T_a)]$$

$$= 0,94 \times 8 [1044 \times 0,8 - 5(60 - 27)]$$

$$= 5039,9 \text{ W}$$

6. Temperatur fluida ($T_{f,m}$)

Dari Persamaan (2-29) diperoleh:

Dengan $T_{f,i}$ adalah temperatur rata-rata air dalam tangki

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q_u}{U_i \times F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

$$T_{f,m} = 61 + \frac{5039,9}{5 \times 0,94} \left[1 - \frac{0,94}{0,95} \right]$$

$$= 62,41^\circ\text{C} = 335,41 \text{ }^\circ\text{K}$$

7. Temperatur pelat ($T_{p,m}$)

Dari Persamaan (2-28) diperoleh:

$$R_{p-f} = \frac{1}{hx\pi xd_1 x n x L}$$

$$R_{p-f} = \frac{1}{336,79 \times \pi \times 0,0105 \times 40 \times 2,86}$$

$$= 7,87 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} - T_{t,m} = q_u \times R_{p-t}$$

$$T_{p,m} - 62,41 = 5039,9 \times 7,67 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} = 66,28 \text{ } ^\circ\text{C} = 339,28 \text{ } ^\circ\text{K}$$

8. Kerugian panas total (U_L)

Dari Persamaan (2-26) diperoleh:

Faktor gesekan (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar, hal.4) :

$$\begin{aligned} f &= 0,1335 \text{ Re}^{-0,317} \\ &= 0,1335 (1987,88)^{-0,317} \\ &= 0,012 \end{aligned}$$

Temperatur dasar pelat (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar,

hal. 201): $C = 250 (1 - 0,0044 (\beta - 90)$

$$\begin{aligned} C &= 250 (1 - 0,0044 (60 - 90) \\ &= 283 \end{aligned}$$

$$h_0 = 5,7 + 3,8 (5) = 24,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\begin{aligned} U_b &= \frac{1}{R} = \frac{k}{t} \\ &= \frac{0,043}{0,05} = 0,86 \end{aligned}$$

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,03}} + \frac{1}{h_0} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

$$U_t = \left[\frac{1}{\frac{283}{339,28} \left(\frac{339,28 - 300}{1 + 0,012} \right)^{0,03} + \frac{1}{24,7}} \right]^{-1} +$$

$$\frac{5,67 \cdot 10^{-8} (339,28 + 300) (339,28^2 + 300^2)}{[0,09 + 0,05(1 - 0,09)]^{-1} + \left(\frac{2 + 0,012 - 1}{0,94} \right)^{-1}}$$

$$= 1,89 \text{ W/m}^2$$

$$U_1 = U_t + U_b$$

$$= 1,89 + 0,86 = 2,75 \text{ W/m}^2$$

U_L yang didapat jauh dari asumsi maka harus dihitung ulang harga U_L .

Asumsi kedua $U_L = 3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$

9. Faktor efisiensi (F'):

Dari Persamaan (2-32)

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left(\frac{1}{U_L \{(s-d)F + d\}} + \frac{1}{\frac{k_p x b}{l}} + \frac{1}{h \pi d_1} \right)}$$

$F' =$

$$\frac{\frac{1}{3}}{0,0854 \left(\frac{1}{3 \{(0,0854 - 0,0125)0,99 + 0,0125\}} + \frac{1}{\frac{0,17 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4}}} + \frac{1}{336,79 \pi \cdot 0,0105} \right)}$$

$$= 0,96$$

10. Efisiensi sirip (F)

Dari Persamaan (2-13) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{U_L}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{3}{385 \times 5 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{0,0854 - 0,0125}{2} \right)} \\
 &= 0,15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\tanh 0,15}{0,15} \\
 &= 0,99
 \end{aligned}$$

11. Koefisien konfeksi (h)

Dari Persamaan (2-33) diperoleh:

$$h = \frac{Nu.k}{d_1}$$

$$m = 34 \text{ liter/menit}$$

$$= 0,567 \text{ dm}^3/\text{detik}$$

$$= 5,67 \times 10^{-1} \text{ kg/detik}$$

$$\text{Laju aliran perpipa} = \frac{0,567}{40} = 0,014$$

$$Re = \frac{4 \times 0,014}{\pi \times 10,5 \times 10^{-3} \times 8,54 \times 10^{-4}}$$

$$= 1987,88$$

Bilangan prandt

$$Pr = \frac{C_p \times \mu}{k}$$

$$= \frac{4178,3 \times 8,54 \times 10^{-4}}{0,615}$$

$$= 5,8$$

$$\text{Re.Pr.} \frac{d_i}{L} = 1987,88 \times 5,8 \times \frac{0,0105}{2,86}$$

$$= 42,34$$

$$\text{Nu} = 5,75$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times k}{d_i}$$

$$= \frac{5,75 \times 0,615}{0,0105} = 336,79 \text{ W/m}^2\text{C}$$

12. Faktor pelepas panas (F_R)

Dari Persamaan (2-34)

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

$$\frac{F_R}{0,96} = \frac{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7}{3 \times 0,96} \left[1 - \exp - \frac{3 \times 0,96}{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7} \right]$$

$$F_R = 0,95$$

13. Mencari nilai q_u :

Dari Persamaan (2-30) diperoleh:

$$Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$q_u = F_R \cdot A_C [Q(\tau\alpha) - U_L(T_c - T_a)]$$

$$= 0,95 \times 8 [1044 \times 0,8 - 3(60 - 27)]$$

$$= 5595,12 \text{ W}$$

14. Temperatur fluida ($T_{f,m}$)

Dari Persamaan (2.-29) diperoleh:

Dengan $T_{f,i}$ adalah temperatur rata-rata air dalam tangki

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q_u}{U_f \times F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

$$T_{f,m} = 61 + \frac{5595,12}{3 \times 0,95} \left[1 - \frac{0,95}{0,96} \right]$$

$$= 63,56^\circ\text{C} = 336,56^\circ\text{K}$$

15. Temperatur pelat ($T_{p,m}$)

Dari Persamaan (2.28) diperoleh:

$$R_{p-f} = \frac{1}{hx \pi d_1 x n x L}$$

$$R_{p-f} = \frac{1}{336,79 \times \pi \times 0,0105 \times 40 \times 2,86}$$

$$= 7,87 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} - T_{f,m} = q_u \times R_{p-f}$$

$$T_{p,m} - 63,56 = 5595,12 \times 7,87 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} = 67,96^\circ\text{C} = 340,96^\circ\text{K}$$

16. Kerugian panas total (U_L)

Dari Persamaan (2-26) diperoleh:

Faktor gesekan (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar, hal.4) :

$$f = 0,1335 \text{ Re}^{-0,317}$$

$$f = 0,1335 (1987,88)^{-0,317}$$

$$= 0,012$$

Temperatur dasar pelat (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar,

hal. 201): $C = 250 (1 - 0,0044 (\beta - 90)$

$$C = 250 (1 - 0,0044 (60 - 90)$$

$$= 283$$

$$h_0 = 5,7 + 3,8 (5) = 24,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

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

$$= \frac{0,043}{0,05} = 0,86$$

$$U_l = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,03}} + \frac{1}{h_0} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

$$U_t = \left[\frac{1}{\frac{283}{340,96} \left(\frac{340,96 - 300}{1 + 0,012} \right)^{0,03} + \frac{1}{24,7}} \right]^{-1} + \frac{5,67 \cdot 10^{-8} (340,96 + 300) (340,96^2 + 300^2)}{[0,09 + 0,05(1 - 0,09)]^{-1} + \left(\frac{2 + 0,012 - 1}{0,94} \right)^{-1}}$$

$$= 1,89 \text{ W/m}^2$$

$$U_l = U_t + U_b$$

$$= 1,89 + 0,86 = 2,75 \text{ W/m}^2$$

U_l yang didapat mendekati U_l asumsi. Jadi U_l yang dipilih $3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Mencari Temperatur Kaca

Asumsi awal $T_c = 308^\circ \text{K}$

$$T_c = T_p - \frac{U_l (T_p - T_a)}{h_i + h_r}$$

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$= \frac{340,96 + 308}{2}$$

$$= 324,48$$

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

$$= \frac{137}{(324,48 + 200)^{1,3} \times 324,48^{1,2}}$$

$$= 0,94$$

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= \frac{T_p - T_c}{50} \\ &= \frac{340,96 - 308}{50} \\ &= 0,66\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi_3 &= \frac{1428(T_m + 200)^{2,3}}{i_m^2} \\ &= \frac{1428(324,48 + 200)^{2,3}}{324,48^2} \\ &= 0,88\end{aligned}$$

Koefisiensi konveksi dalam (h_1) : (untuk $\beta = 60$)

Dari Persamaan (2-20) diperoleh:

$$\begin{aligned}z\Phi_2\Phi_3 &= 2,5 \times 0,66 \times 0,88 \\ &= 1,45\end{aligned}$$

Dari gambar grafik 2.7 diperoleh

$$h_1 / (\Phi_1\Phi_2) = 3,45$$

Sehingga $h_1 = 3,45 \times 0,94 \times 0,66$

$$= 2,14$$

18. Koefisien radiasi dalam (h_{ri})

Dari Persamaan (2-21) diperoleh:

$$h_{ri} = \frac{\sigma(T_p^4 - T_c^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) (T_p - T_c)}$$

$$= \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (340,96^4 - 308^4)}{\left(\frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,94} - 1 \right) (340,96 - 308)}$$

$$= 0,69$$

19. Temperatur kaca (T_c):

Dari Persamaan (2-31) diperoleh:

$$T_c = T_{p,m} - \frac{U_i (T_{p,m} - T_a)}{h_i + h_r}$$

$$= 340,96 - \frac{1,89(340,96 - 300)}{2,14 + 0,69}$$

$$= 313,6^\circ\text{K}$$

T_c yang didapat mendekati T_c asumsi. Jadi T_c yang dipakai adalah 303°K .

20. Efisiensi termal kolektor (η):

Dari Persamaan (2-36) diperoleh:

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right)$$

$$F_R (\tau\alpha) = 0,94 \times (0,8) = 0,75$$

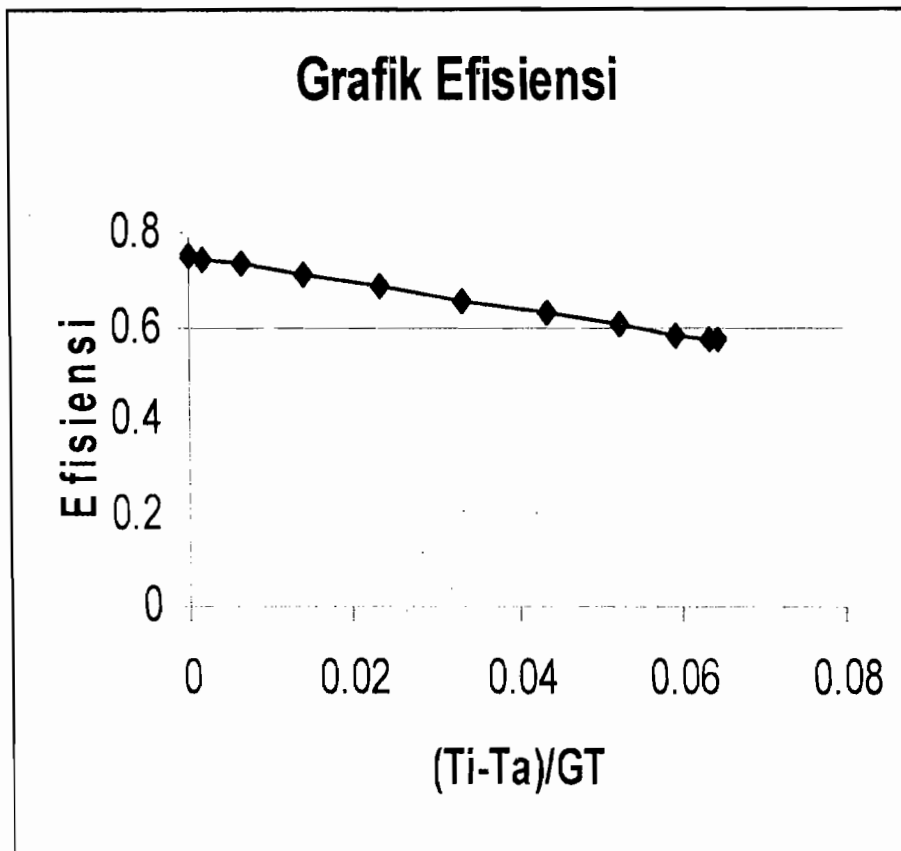
$$-F_R U_L = -0,94 \times (3) = -2,82$$

Untuk temperatur air masuk (T_i) = $41,53^\circ\text{C}$

$$\left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) = \left(\frac{41,53 - 27}{1044} \right) = 1,45 \times 10^{-3}$$

$$\eta = 0,94 \times (0,80) - (0,94 \times 3) \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right)$$

$$\eta = 0,75 - 2,82 \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right)$$



Grafik 3.3. Grafik efisiensi

3.2 Perhitungan dengan menggunakan G_t rata-rata

Dengan memasukkan persamaan:

$$M_s c_s \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = A_c \bar{F} ((\tau \alpha) G_{T(\text{rata-rata})} \sin \omega \theta - U_l (T_s - T_a)) - U_s A_s (T_s - T_a)$$

Diperoleh:

$$500 \cdot (4,175) \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 8 \cdot 0,96 [(0,8) \times 2388 - 3(T_s - 27)] - 0,205 \times 2,85 (T_s - 30)$$

$$2087,5 \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 7.68 [1910,4 - 3T_s + 81] - 0,58T_s + 17,38$$

$$2087,5 \left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = 14671,87 - 23,62T_s + 639,46$$

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) = -0,01T_s + 7,34$$

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) + 0,01T_s = 7,34$$

$$\left(\frac{dT_s}{d\theta} \right) \times e^{-0,01} + 0,01T_s \times e^{-0,01} = 7,34$$

$$T_s \times e^{-0,01} = 7,34 \int e^{-0,01} d\theta + C$$

$$T_s \times e^{-0,01} = 734 e^{-0,01} + C$$

Misalkan tempetatur air masuk = 27°C dan $\theta = 0$, sehingga didapat:

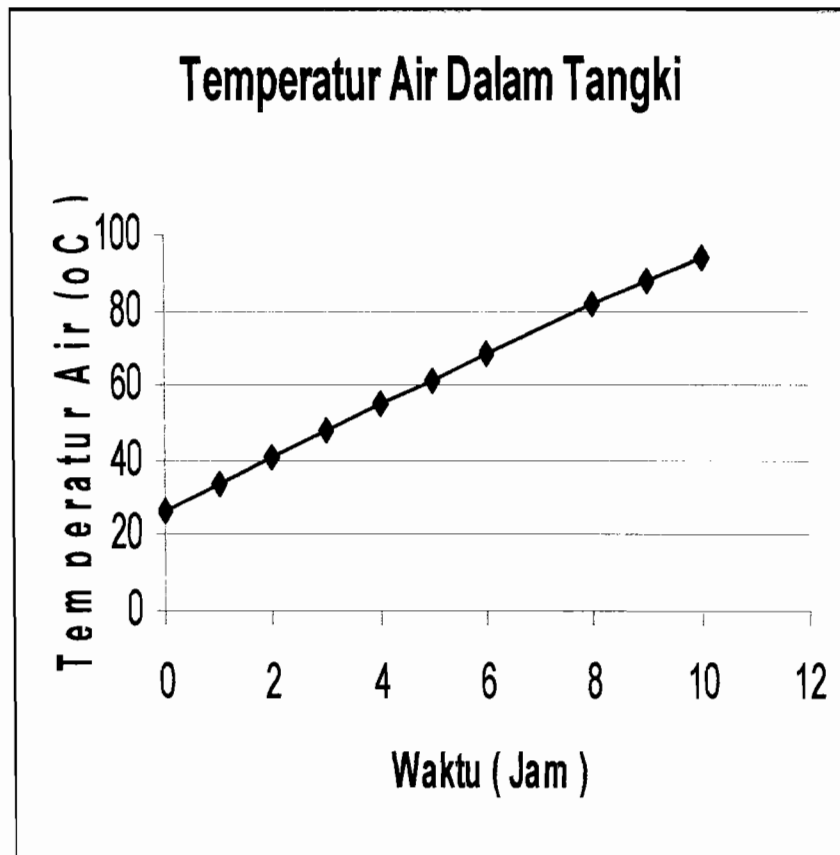
$$T_s = 734 - 707 \times e^{-0,010}$$



Sehingga didapatkan:

Tabel 3.3. Temperatur air dalam tangki

WAKTU	θ (Jam)	T_s (°C)
07.00	0	27
08.00	1	34,04
09.00	2	40,99
10.00	3	47,89
11.00	4	54,72
12.00	5	61,48
13.00	6	68,17
14.00	7	74,79
15.00	8	81,36
16.00	9	87,85
17.00	10	94,28



Grafik 3.4. Temperatur air dalam tangki

Asumsi awal : $(U_L) = 5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$

1. Faktor efisiensi (F'):

Dari Persamaan (2-32)

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left(\frac{1}{U_L \{ (s-d)F + d \}} + \frac{1}{\frac{k_p x b}{l}} + \frac{1}{h \pi d_1} \right)}$$

F' =

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{5} \\
 & \frac{0,0854 \left(\frac{1}{5 \{ (0,0854 - 0,0125) 0,99 + 0,0125 \}} + \frac{1}{0,17 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{336,79 \times \pi \times 0,0105} \right)}{1 \cdot 10^{-4}} \\
 & = 0,95
 \end{aligned}$$

2. Efisiensi sirip (F)

Dari Persamaan (2-13) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 & = \sqrt{\frac{U_L}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)} \\
 & = \sqrt{\frac{5}{385 \times 5 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{0,0854 - 0,0125}{2} \right)} \\
 & = 0,19
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F & = \frac{\tanh 0,19}{0,19} \\
 & = 0,99
 \end{aligned}$$

3. Koefisien konveksi (h)

Dari Persamaan (2-33) diperoleh:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d_1}$$

$$m = 34 \text{ liter/menit}$$

$$= 0,567 \text{ dm}^3/\text{detik}$$

$$= 5,67 \times 10^{-1} \text{ kg/detik}$$

$$\text{Laju aliran perpipa} = \frac{0,567}{40} = 0,014$$

$$\text{Re} = \frac{4 \times 0,014}{\pi \times 10,5 \times 10^{-3} \times 8,54 \times 10^{-4}}$$

$$= 1987,88$$

Bilangan prandt

$$\text{Pr} = \frac{C_p \times \mu}{k}$$

$$= \frac{4178,3 \times 8,54 \times 10^{-4}}{0,615}$$

$$= 5,8$$

$$\text{Re.Pr} \frac{d_i}{L} = 1987,88 \times 5,8 \times \frac{0,0105}{2,86}$$

$$= 42,34$$

$$\text{Nu} = 5,75$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times k}{d_i}$$

$$= \frac{5,75 \times 0,615}{0,0105} = 336,79 \text{ W/m}^2\text{C}$$

4. Faktor pelepas panas (F_R)

Dari Persamaan (2-34)

$$\frac{F_R}{F^i} = \frac{G \times C_p}{U_L \times F^i} \left[1 - \exp - \frac{U_L \times F^i}{G \times C_p} \right]$$

$$\frac{F_R}{0,9} = \frac{0,071 \times 4178,3}{5 \times 0,95} \left[1 - \exp - \frac{5 \times 0,95}{0,071 \times 4178,3} \right]$$

$$F_R = 0,94$$

5. Mencari nilai q_u :

Dari Persamaan (2-30) diperoleh:

$$Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$q_u = F_R \cdot A_C [Q(\tau\alpha) - U_L(T_c - T_a)]$$

$$= 0,94 \times 8 [663,33 \times 0,8 - 5(60 - 27)]$$

$$= 2749,79 \text{ W}$$

6. Temperatur fluida ($T_{f,m}$)

Dari Persamaan (2-29) diperoleh:

Dengan $T_{f,i}$ adalah temperature rata-rata air dalam tangki

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{\frac{q_u}{A}}{U_L F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

$$T_{f,m} = 61 + \frac{2749,79}{5 \times 0,94} \left[1 - \frac{0,94}{0,95} \right]$$

$$= 61,77^\circ\text{C} = 333,77 \text{ }^\circ\text{K}$$

7. Temperatur pelat ($T_{p,m}$)

Dari Persamaan (2-28) diperoleh:

$$R_{p-f} = \frac{1}{hx\pi d_1 x n x L}$$

$$R_{p-f} = \frac{1}{345,57 \times \pi \times 0,0105 \times 40 \times 2,86}$$

$$= 7,67 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} - T_{t,m} = q_u \times R_{p-f}$$

$$T_{p,m} - 61,77 = 2720,54 \times 7,67 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} = 63,86 \text{ } ^\circ\text{C} = 336,86 \text{ } ^\circ\text{K}$$

8. Kerugian panas total (U_L)

Dari Persamaan (2-26) diperoleh:

Faktor gesekan (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar, hal.4) :

$$f = 0,1335 \text{ Re}^{-0,317}$$

$$= 0,1335 (1987,88)^{-0,317}$$

$$= 0,012$$

Temperatur dasar pelat (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar,

hal. 201): $C = 250 (1 - 0,0044 (\beta - 90)$

$$C = 250 (1 - 0,0044 (60 - 90)$$

$$= 283$$

$$h_0 = 5,7 + 3,8 (5) = 24,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

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

$$= \frac{0,043}{0,05} = 0,86$$

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,03}} + \frac{1}{h_0} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

$$U_t = \left[\frac{1}{\frac{283}{336,86} \left(\frac{336,86 - 300}{1 + 0,012} \right)^{0,03} + \frac{1}{24,7}} \right]^{-1} +$$

$$\frac{5,67 \cdot 10^{-8} (336,86 + 300) (336,86^2 + 300^2)}{[0,09 + 0,05(1 - 0,09)]^{-1} + \left(\frac{2 + 0,012 - 1}{0,94} \right)^{-1}}$$

$$= 1,88 \text{ W/m}^2$$

$$U_i = U_t + U_b$$

$$= 1,88 + 0,86 = 2,74 \text{ W/m}^2$$

U_L yang didapat jauh dari asumsi maka harus dihitung ulang harga U_L .

Asumsi kedua $U_L = 3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

9. Faktor efisiensi (F')

Dari Persamaan (2-32)

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{s \left(\frac{1}{U_L \{ (s-d)F + d \}} + \frac{1}{\frac{k_p \cdot x b}{l}} + \frac{1}{h \pi d_1} \right)}$$

$F' =$

$$\frac{\frac{1}{3}}{0,0854 \left(\frac{1}{3 \{ (0,0854 - 0,0125)0,99 + 0,0125 \}} + \frac{1}{\frac{0,17 \cdot 18 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4}}} + \frac{1}{336,79 \cdot \pi \cdot 0,0105} \right)}$$

$$= 0,96$$

10. Efisiensi sirip (F)

Dari Persamaan (2-13) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{U_L}{k\delta} \left(\frac{s-d}{2} \right)} \\
 &= \sqrt{\frac{3}{385 \times 5 \cdot 10^{-4}} \left(\frac{0,0854 - 0,0125}{2} \right)} \\
 &= 0,15 \\
 F &= \frac{\tanh 0,15}{0,15} \\
 &= 0,99
 \end{aligned}$$

11. Koefisien konveksi (h)

Dari Persamaan (2-33) diperoleh:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d_1}$$

$$m = 34 \text{ liter/menit}$$

$$= 0,567 \text{ dm}^3/\text{detik}$$

$$= 5,67 \times 10^{-1} \text{ kg/detik}$$

$$\text{Laju aliran perpipa} = \frac{0,567}{40} = 0,014$$

$$Re = \frac{4 \times 0,014}{\pi \times 10,5 \times 10^{-3} \times 8,54 \times 10^{-4}}$$

$$= 1987,88$$

Bilangan prandt

$$Pr = \frac{C_p \cdot x \cdot \mu}{k}$$

$$= \frac{4178,3 \times 8,54 \times 10^{-4}}{0,615}$$

$$= 5,8$$

$$\text{Re.Pr.} \frac{d_i}{L} = 1987,88 \times 5,8 \times \frac{0,0105}{2,86}$$

$$= 42,34$$

$$\text{Nu} = 5,75$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times k}{d_i}$$

$$= \frac{5,75 \times 0,615}{0,0105} = 336,79 \text{ W/m}^2\text{C}$$

12. Faktor pelepas panas (F_R)

Dari Persamaan (2-34)

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

$$\frac{F_R}{0,96} = \frac{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7}{3 \times 0,96} \left[1 - \exp - \frac{3 \times 0,96}{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7} \right]$$

$$F_R = 0,95$$

13. Mencari nilai q_u :

Dari Persamaan (2.18) diperoleh:

$$Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$q_u = F_R \cdot A_c [Q(\tau\alpha) - U_L(T_c - T_a)]$$

$$= 0,95 \times 8 [663,33 \times 0,8 - 3(60 - 27)]$$

$$= 3280,65 \text{ W}$$

14. Temperatur fluida ($T_{f,m}$)

Dari Persamaan (2.-29) diperoleh:

Dengan $T_{f,i}$ adalah temperatur rata-rata air dalam tangki

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{q_u}{U_i \times F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

$$T_{f,m} = 61 + \frac{3280,65}{3 \times 0,95} \left[1 - \frac{0,95}{0,96} \right]$$

$$= 62,49^\circ\text{C} = 335,49^\circ\text{K}$$

15. Temperatur pelat ($T_{p,m}$)

Dari Persamaan (2.28) diperoleh:

$$R_{p-f} = \frac{1}{hx\pi d_1 x n x L}$$

$$R_{p-f} = \frac{1}{336,79 \times \pi \times 0,0105 \times 40 \times 2,86}$$

$$= 7,87 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} - T_{t,m} = q_u \times R_{p-f}$$

$$T_{p,m} - 62,49 = 3280,65 \times 7,87 \times 10^{-4}$$

$$T_{p,m} = 65,23^\circ\text{C} = 338,23^\circ\text{K}$$

16. Kerugian panas total (U_L).

Dari Persamaan (2-26) diperoleh:

Faktor gesekan (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar, hal.4) :

$$f = 0,1335 \text{ Re}^{-0,317}$$

$$f = 0,1335 (1987,88)^{-0,317}$$

$$= 0,012$$

Temperatur dasar pelat (Teknologi Rekayasa Surya, Prof. Wiranto Arismunandar,

hal. 201): $C = 250 (1 - 0,0044 (\beta - 90)$

$$C = 250 (1 - 0,0044 (60 - 90)$$

$$= 283$$

$$h_0 = 5,7 + 3,8 (5) = 24,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

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

$$= \frac{0,043}{0,05} = 0,86$$

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^{0,03}} + \frac{1}{h_0} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)]^1 + \left(\frac{2N + f - 1}{\varepsilon_g} \right) - N}$$

$$U_t = \left[\frac{1}{\frac{283}{338,23} \left(\frac{338,23 - 300}{1 + 0,012} \right)^{0,03} + \frac{1}{24,7}} \right]^{-1} +$$

$$\frac{5,67 \cdot 10^{-8} (338,23 + 300) (338,23^2 + 300^2)}{[0,09 + 0,05(1 - 0,09)]^{-1} + \left(\frac{2 + 0,012 - 1}{0,94} \right)^{-1}}$$

$$= 1,89 \text{ W/m}^2$$

$$U_l = U_t + U_b$$

$$= 1,89 + 0,86 = 2,75 \text{ W/m}^2$$

U_l , yang didapat mendekati U_l asumsi. Jadi U_l , yang dipilih 3 W/m^2 .

Mencari Temperatur Kaca

Asumsi awal $T_c = 308^\circ\text{K}$

$$T_c = T_p - \frac{U_l (T_p - T_a)}{h_i + h_r}$$

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$= \frac{338,23 + 308}{2}$$

$$= 323,12$$

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

$$= \frac{137}{(323,12 + 200)^{1/3} \times 323,12^{1/2}}$$

$$= 0,95$$

$$\Phi_2 = \frac{T_p - T_c}{50}$$

$$= \frac{338,23 - 308}{50}$$

$$= 0,6$$

$$\Phi_3 = \frac{1428(T_m + 200)^{2/3}}{T_m^2}$$

$$= \frac{1428(323,12 + 200)^{2/3}}{323,12^2}$$

$$= 0,89$$

Koefisiensi konveksi dalam (h_1) : (untuk $\beta = 60$)

Dari Persamaan (2-20) diperoleh:

$$z\Phi_2\Phi_3 = 2,5 \times 0,6 \times 0,89$$

$$= 1,34$$

Dari gambar grafik 2.7 diperoleh

$$h_1 / (\Phi_1\Phi_2) = 3,45$$

$$\text{Sehingga } h_1 = 3,45 \times 0,95 \times 0,6$$

$$= 1,97$$

18. Koefisien radiasi dalam (h_{ri})

Dari Persamaan (2-21) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 h_{ri} &= \frac{\sigma x (T_p'^4 - T_c'^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) (T_p' - T_c')} \\
 &= \frac{5,67 \times 10^{-8} \times (338,23^4 - 308^4)}{\left(\frac{1}{0,09} + \frac{1}{0,94} - 1 \right) (338,23 - 313)} \\
 &= 0,69
 \end{aligned}$$

19. Temperatur kaca (T_c):

Dari Persamaan (2-31) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 T_c &= T_{p,m} - \frac{U_t (T_{p,m} - T_a)}{h_i + h_{ri}} \\
 &= 338,23 - \frac{1,19(338,23 - 300)}{1,97 + 0,69} \\
 &= 311,1 \text{ } ^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

T_c yang didapat mendekati T_c asumsi. Jadi T_c yang dipakai adalah 308°K .

20. Efisiensi termal kolektor (η):

Dari Persamaan (2-36) diperoleh:

$$\eta = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right)$$

$$F_R (\tau \alpha) = 0,95 \times (0,8) = 0,76$$

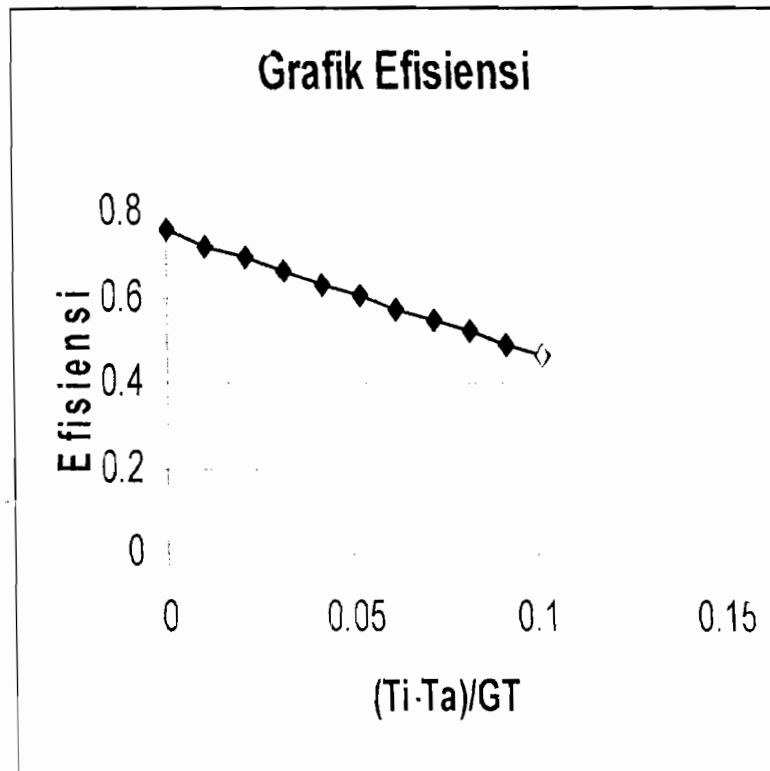
$$-F_R U_L = -0,95 \times (3) = -2,85$$

Untuk temperatur air masuk (T_i) = $47,89^\circ\text{C}$

$$\left(\frac{T_i - T_a}{G_T} \right) = \left(\frac{47,89 - 27}{663,33} \right) = 3,12 \times 10^{-3}$$

$$\eta = 0,95 \times (0,80) - (0,95 \times 3) \left(\frac{T_i - T_a}{G_r} \right)$$

$$\eta = 0,76 - 2,85 \left(\frac{T_i - T_a}{G_r} \right)$$



Grafik 3.5. Grafik efisiensi

Mencari laju aliran massa :

Asumsi pertama 25 kg/min = 0,417 kg/s

1. Faktor pelepas panas

Dari Persamaan (2-34)

$$\frac{F_R}{F''} = \frac{Gx C_p}{U_l x L''} \left[1 - \exp - \frac{U_l x L''}{Gx C_p} \right]$$

$$\frac{F_R}{0,95} = \frac{0,052 \times 4178,7}{3 \times 0,95} \left[1 - \exp - \frac{3 \times 0,95}{0,052 \times 4178,7} \right]$$

$$F_R = 0,94$$

2. Temperatur fluida masuk rata-rata (T_1): 60°C

$$3. Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$4. q_u = F_R \cdot A_c [Q(\tau\alpha) - U_t(T_c - T_a)]$$

$$= 0,94 \times 8 [663,33 \times 0,8 - 3(60 - 27)]$$

$$= 3246,11 \text{ W}$$

$$5. h_F = \frac{f \cdot l \cdot v^2}{2g \cdot d} + \sum \frac{k \cdot v^2}{2g}$$

$$f = \frac{64}{RE} = \frac{64}{2011,55}$$

$$= 0,032$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$= \frac{\pi}{4} (10,5 \times 10^{-3})^2 = 8,66 \times 10^{-5}$$

$$V = \frac{m}{A}$$

$$V = \frac{\frac{0,052}{983,3}}{8,66 \times 10^{-5}}$$

$$= 0,61$$

$$hF = \left[\frac{0,032 \times 2,86 \times (0,61)^2}{2 \times 9,8 \times 0,0105} \right] + \left[\frac{0,5 \times (0,61)^2}{2 \times 9,8} \right]$$

$$= 0,17$$

Asumsi pertama 34 kg/min = 0,567 kg/s

1. Faktor pelepas panas

Dari Persamaan (2-34)

$$\frac{F_R}{F'} = \frac{Gx C_p}{U_L x F'} \left[1 - \exp - \frac{U_L x F'}{Gx C_p} \right]$$

$$\frac{F_R}{0,96} = \frac{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7}{3 \times 0,96} \left[1 - \exp - \frac{3 \times 0,96}{7,1 \times 10^{-2} \times 4178,7} \right]$$

$$F_R = 0,95$$

2. Temperatur fluida masuk rata-rata (T_i): 60°C

$$3. Q = \frac{2,388 \times 10^6}{60 \times 60}$$

$$= 663,33 \text{ W/m}^2$$

$$4. q_u = F_R \cdot A_C [Q(\tau\alpha) - U_L(T_c - T_a)]$$

$$= 0,95 \times 8 [663,33 \times 0,8 - 3(60 - 27)]$$

$$= 3280,65$$

$$5. hF = \frac{f \cdot l \cdot v^2}{2g \cdot d} + \sum \frac{k \cdot v^2}{2g}$$

$$f = \frac{64}{RE} = \frac{64}{2011,55}$$

$$= 0,032$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{4} d^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} (10,5 \times 10^{-3})^2 \\
 &= 8,66 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{7,1 \times 10^{-2}}{983,3}$$

$$= 0,83$$

$$hF = \left[\frac{0,032 \times 2,86 \times (0,83)^2}{2 \times 9,8 \times 0,0105} \right] + \left[\frac{0,5 \times (0,83)^2}{2 \times 9,8} \right]$$

$$= 0,32$$

Evaluasi Prestasi dari sistem Pemanas Surya Aktif

Mencari parameter X dan Y

1. Dari Persamaan (2. 37)

$$X = A_c F_R U_L (100^\circ \text{C} - T_a) \frac{\Delta t}{L}$$

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$= 500 \text{kg} \times 4178,7 \times (60 - 27)$$

$$= 69 \times 10^6 \text{ J perhari}$$

$$L = 21 \times 10^8 \text{ J perbulan.}$$

$$L = 21 \times 10^8 \text{ J perbulan.}$$

$$X = 8 \times 0,94 \times 3 (100 - 27) \frac{2,678 \times 10^6}{21 \times 10^8}$$

$$X = 0,7$$

2. Dari Persamaan (2.38)

$$Y = A_c F_R (\tau \alpha)_n \frac{\tau \alpha}{(\tau \alpha)_n} H_T \frac{N}{L}$$

$$H_T = \frac{2,388 \times 30}{5}$$

$$= 14,32 \text{ MJ/ m}^2$$

$$Y = 8 \times 0,94 \times 0,667 \times 0,94 \times 14,32 \times 10^6 \times \frac{31}{21 \times 10^8}$$

$$Y = 1,2$$

Dengan kata lain 90 persen dari beban pemanas dalam tiap bulan dipenuhi oleh sistem surya

3. Ekonomi

Nilai sekarang dari biaya modal dan biaya perawatan

Dengan:

Harga perKWH = 0,0495 dolar

Penghematan pertahun: 90 persen

Bunga diskon: 8 persen

Laju inflasi: 5 persen

Harga sewa listrik naik: 10 persen

Pemakaian sistem: 15 tahun

Biaya perawatan tahun pertama: 150 dolar

Beban listrik: 0,069 GJ/hari

$$= 0,069 \times 365 = 25,19 \text{ GJ/tahun}$$

kurs 1 dolar: Rp. 10400,00

$$\text{Biaya per GJ} = \frac{0,0495 \times 1000}{3,6} = 13,75 \text{ dolar/Gj}$$

Penghematan bahan bakar tahun pertama:

$$= 0,9 \times 25,19 \times 13,75 \text{ dolar/GJ}$$

$$= 311,73 \text{ dolar}$$

Nilai sekarang dari penghematan bahan bakar:

$$\begin{aligned} \text{PWF} &= \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \right] \frac{1}{d-i} \\ &= 311,73 \left[1 - \left(\frac{1+0,1}{1+0,08} \right)^{15} \right] \frac{1}{0,08-0,1} \end{aligned}$$

$$= 4938,47 \text{ dolar}$$

Nilai sekarang dari biaya perawatan:

$$\begin{aligned} \text{PWF} &= \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^n \right] \frac{1}{d-i} \\ &= 150 \left[1 - \left(\frac{1+0,05}{1+0,08} \right)^{15} \right] \frac{1}{0,08-0,05} \end{aligned}$$

$$= 1723,17 \text{ dolar}$$

Dengan demikian alat ini memerlukan biaya modal sebesar;

$$= 4938,47 \text{ dolar} - 1723,17 \text{ dolar} = 3.215,3 \text{ dolar}$$

$$= \text{Rp } 33439128,82$$

BAB IV

PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Efisiensi sirip = 0,99

Koefisien konveksi = 336,79 W/m²°C

Faktor efisiensi = 0,96

Faktor pelepasan panas = 0,95

Panas yang diserap kolektor = 3280,66 w

Temperatur fluida = 62,49 °C

Temperatur plat = 65 °C

Temperatur kaca = 35 °C

Beban pemanas = 90 persen

Dari perhitungan yang didapatkan, saya menggunakan radiasi sinar matahari yang masuk ke plat pada kolektor. Tujuan dari perhitungan untuk mengetahui temperatur air pada tangki penyimpanan panas yang didapat akibat radiasi.

Besarnya temperatur air panas yang keluar dari kolektor yang akan disimpan dalam tangki penyimpanan panas dipengaruhi oleh :

- 4.1.1. Keadaan cuaca mempengaruhi energi matahari yang datang ke permukaan bumi. Semakin cerah cuacanya maka semakin banyak

energi matahari yang diserap kolektor, sehingga T_s yang didapat semakin besar.

- 4.1.2. Sudut kemiringan dari plat kolektor, sudut deklinasi, sudut jam, dan posisi garis lintang (dari daerah yang bersangkutan) mempengaruhi penyerapan radiasi pada kolektor sehingga mempengaruhi T_s .
- 4.1.3. Semakin besar ukuran kolektornya (luas penampang pelat kolektor) maka semakin besar panas yang diserap oleh kolektor, sehingga T_s yang didapat semakin besar.
- 4.1.4. Ukuran tangki penyimpan panas, semakin besar massa air dalam tangki maka T_s yang didapat semakin kecil

4.2. Saran

Perhitungan yang didapat disini dipandang dari segi ekonomi ternyata lebih mahal daripada penggunaan energi listrik. Akan tetapi bila memperhatikan lamanya pemakaian sistem pemanas ini, maka jauh lebih murah dari pemakaian listrik. Perancangan ini dikatakan efisien dan hemat apabila jumlah penggunaan air panas dalam jumlah yang banyak. Jadi sistem ini tidak cocok terpasang untuk penggunaan air panas dalam jumlah sedikit.

4.3. Penutup

Tujuan dari perancangan ini diharapkan mampu untuk menggantikan penggunaan energi listrik untuk penggunaan pemanas air. Penggunaan energi listrik mempunyai kecenderungan meningkat sehingga dituntut untuk mencari

alternatif untuk menggantikan penggunaan energi listrik. Energi dari matahari ini dijadikan alternatif untuk menggantikan energi listrik dalam penggunaan pemanas air. Dalam usaha penghematan energi dan penyediaan energi ramah lingkungan, pemanfaatan energi surya mendapatkan perhatian yang lebih serius sehingga kita dituntut untuk merancang dan membuat peralatan-peralatan yang dapat menggantikan dan juga menghemat biaya dari energi listrik dalam penggunaannya.

Demikian perancangan ini, kepada semua pihak yang telah membantu selama proses pengerjaan, mulai dari awal sampai terselesaikannya rancangan ini, penyusun mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jansen.T.J, *Teknologi Rekayasa Surya*, Cetakan pertama, Alih bahasa Prof. Wiranto Arismunandar, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995
2. Lunde, Peter J, *Solar Thermal Engineering Space Heating and Hot Water Systems*, Penerbit John Wiley and Sons. inc, Canada, 1980
3. Ir. Herman Widodo Soemitro, *Mekanika Fluida dan Hidraulika*, edisi kedua (SI Metrik), Penerbit Erlangga, Jakarta, 1986
4. J. P. Holmen, *Perpindahan Kalor*, edisi keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994

LAMPIRAN

Tabel 4. SIFAT AIR

°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	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-3}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

Sumber: J.P. Holman, Perpindahan Kalor, hal.593

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIV. SANATA DHARMA YOGYAKARTA**

No : 616 / TA / FT-USD / TM / Nopember / 2005

Nama : Noki Setyawan
 Nim : 995214098
 Program Studi : Teknik Mesin
 Fakultas : Teknik, Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
 Judul :

Pemanas air energi surya untuk pencuci botol pada industri minuman

Tanggal dimulai : 19 September 2004

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

Pembimbing II :

No	Tgl	Uraian	Keterangan	Tanda Tangan
1	03/10 ⁰⁹	Cari data dan gambar		<u>Rusdi</u>
2	08/10 ⁰⁹	Susun BAB I dan II disertai gambar		<u>Rusdi</u>
3	05/09 ¹⁰	Revisi bab I dan II dan gambar ditersuskan III dan V		<u>Rusdi</u>
4	06/10 ¹⁰	Gambar diperbaiki ukuran dan direvisi BAB III		<u>Rusdi</u>
5	02/10 ¹⁰	Lengkapi susunan dan kelengkapan		<u>Rusdi</u>
6	25/10 ¹⁰	Perbaiki naskah dan gambar dan dilengkapi data		<u>Rusdi</u>
7	8/11 ¹⁰	Revisi gambar		<u>Rusdi</u>
8	12/11 ¹⁰	Revisi naskah		<u>Rusdi</u>

**DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR
JURUSAN TEKNIK MESIN FT USD**

Nama : Noki Setyawan
 NIM : 995214098
 Prog. Studi : Teknik Mesin
 Fakultas : Teknik Univ. Sanata Dharma Yogyakarta
 Judul TA :

Pemanas air untuk pencuci botol padat industri minuman

Pemb I : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pemb II :

NO	NIM	Nama	Tanda Tangan
1	015214078	A. Harry Kristian	
2	015214070	Hermen Sugiharto	H. Me.
3	015214080	Hemawan Suryanto	
4	015214011	ENDANG	
5	015214113	ANDY NUGROHO	
6	015214012	Willybrardus Subie D.P	
7	015214016	Muhammad Henry Fastus	
8	015214111	Bernardus Y A	
9	015214066	Jimmy N	
10	025214052	Yarho	
11	025214059	Janvarto Sadata	
12	015214105	AGUS Y	
13	995214033	Anthony - C	



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

UJIAN PENDADARAN TUGAS AKHIR / SKRIPSI

TANGGAL : 22 Desember 2005



NAMA Mhs. : Noki Setyawan

NIM : 995214098

JUDUL :

Pemanas air energi surya untuk industri minuman

Pembimbing Utama : Ir. FA. Rusdi Sambada, M.T.

Pembimbing Kedua :

USULAN REVISI DARI DOSEN PENGUJI

1. 1 lembar untuk mahasiswa
2. 1 lembar untuk dosen pembimbing

bat di raslah => tabel, gambar dll.

ntisari

gambar diperbaiki, skala, ukuran dsb.