

# SOLAR WATER DISTILLATION DESIGN

## TUGAS AKHIR

No. Soal : 286 / FT.USD / TM / Januari / 2003

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

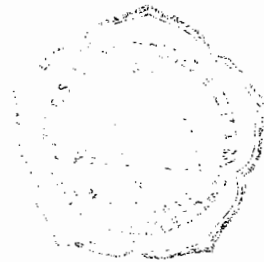


Oleh :

**KOMARUDIN YAKUB**

NIM : 985214088

NIRM : 980051123109120088



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



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

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

Nomor : 286 / FT\_USD / TM / Januari / 2003

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Komarudin Yakub

Nomor Mahasiswa : 985214088

NIRM : 980051123109120088

Jurusan : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Matakuliah : Radiasi Termal

Judul / naskah soal :

Solar water Distillation Design

Tanggal dimulai : 10 Januari 2003

Dosen Pembimbing Kedua

(Ir. YB. Lukiyanto, MT )

Yogyakarta,  
Dosen Pembimbing Utama

( Ir.FA.Rusdi Sambada, MT )



**LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR**

Nomor : 286 / FT\_USD / TM / Januari / 2003

Diberikan kepada :  
Nama Mahasiswa : Komarudin Yakub  
Nomor Mahasiswa : 985214088  
NIRM : 980051123109120088  
Jurusan : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Matakuliah : Radiasi Termal  
Judul / naskah soal :  
Solar water Distillation Design  
Tanggal dimulai : 10 Januari 2003  
Pembimbing Utama : Ir.FA.Rusdi Sambada, MT  
Pembimbing Kedua : Ir.YB. Lukiyanto, MT

NO	TGL.	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	10-2-2003	BAB I + II		<u>Rusdi</u>
2	20-2-2003	BAB III Kefici efisiensi		<u>Rusdi</u>
3	14-3-2003	BAB IV Grafik diganti		<u>Rusdi</u>
4				<u>Rusdi</u>
5				<u>Rusdi</u>
6				<u>Rusdi</u>
7				<u>Rusdi</u>
8				<u>Rusdi</u>

# HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

## TUGAS AKHIR SOLAR WATER DISTILLATION DESIGN

Oleh

**KOMARUDIN YAKUB**

**NIM :985214088**

**NIRM :980051123109120088**

**Telah disetujui oleh**

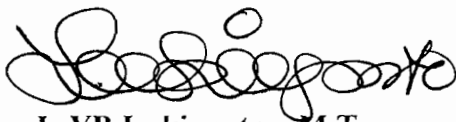
**Dosen Pembimbing Utama**



**Ir .F.A. Rusdi Sambada, M.T.**

**Tanggal 10-januari-2003**

**Dosen Pembimbing Kedua**



**Ir.YB.Lukiyanto , M T.**

**Tanggal 10-januari-2003**

# HALAMAN PENGESAHAN

## TUGAS AKHIR SOLAR WATER DISTILLATION DESIGN

OLEH

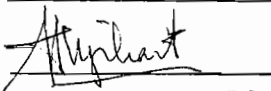

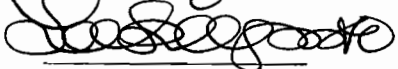

KOMARUDON YAKUB

NIM : 985214088

NIRM : 980051123109120088

Telah Dipertahankan Di Depan Panitia Penguji  
Pada Tanggal : 22-maret-2003  
Dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

### Susunan Panitia Penguji

	Nama Lengkap	Tanda Tangan
Ketua	Ir.Greg.Harjanto	
Sekretaris	Budi Sugiharto S. T., M. T.	
Anggota	Ir. F.A Rusdi Sambada, MT.	
Anggota	Ir.YB. Lukiyanto, MT.	
Anggota	Ir. Yosep Agung Cahyanta, M T	

Yogyakarta,  
Fakultas Teknik  
Universitas Sanata Dharma

Dekan,



  
Ir. Greg Harjanto

Syukurku pada **ALLAH SWT** Yang selalu memberi  
rahmat dan hidayah-NYA  
Dan sholawat atas Muhammad Nabiku yang telah  
menunjukkan jalan yang terang bagi umatnya

**Kupersembahkan karya ini Kepada :**

Kedua Orang Tuaku (Bapak H.YAKUB &  
Ibu.HJ.SITI AMINAH)

Kakak dan Keponakanku(ZUAEROH&PUTRI  
,HAGAR)

Saudara-saudaraku yang mendoakanku  
Dan rekan-rekan angkatan 98 yang baik-baik  
Serta buat calon istriku yang selalu dihatiku

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Dalam Tugas Akhir ini membahas mengenai perancangan Destilasi air, yang merupakan salah satu mata kuliah dari Radiasi Termal.

Dalam kesempatan ini diucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan, saran dan fasilitas sehingga dapat terselesaikannya tugas ini, kepada :

1. Bapak Ir. G. Harjanto, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Ir. F.A.Rusdi Sambada, M.T., selaku dosen pembimbing pertama dalam Tugas Akhir.
3. Bapak Lukiyanto S.T, M.T , selaku dosen pembimbing kedua dalam Tugas Akhir
4. Segenap Dosen, Karyawan dan seluruh Civitas Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
5. Sahabat-sahabatku, marwanto, mbah aziz, Priyo, doan, beny, pakde dedy, hendro, fita, retno, tria, ghibix, tohar, soim , kencuk dan yang lain yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu.

6. Teman-teman angkatan 98 yang baik-baik dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga selesai.

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

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberi sedikit manfaat bagi pembaca.

Penulis,



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN SOAL .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
NOTASI .....	xvi
ABSTRAK.....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Tinjauan Umum.....	1
1.2. Faktor Pertimbangan Dalam Pemilihan Distilasi Surya .....	1
1.2.1 Manfaat Distilasi surya.....	3
1.2.2 PenerapanDistilasi Surya.....	4
1.3. Pengoperasian Distilasi Surya .....	2
1.3.1 Teori Umum Distilasi Surya.....	5
1.3.1 Proses Destilasi Surya.....	5
1.4. Jenis Jenis Perancangan Solar Still. ....	6
1.5. Mekanisme Kerja Distilasi Surya.....	9

	1.6. Batasan Masalah.....	11
BAB II	DASAR TEORI.....	12
	2.1. Tinjauan Perpindahan Kalor.....	12
	2.1.1. Konduksi.....	12
	2.1.2. Konveksi.....	13
	2.1.3. Radiasi.....	14
	2.2. Radiasi Surya.....	15
	2.3. Kolektor Surya.....	17
	2.4. Koefisien Kerugian $U_L$ .....	18
BAB III	DATA DAN PERHITUNGAN HASIL PENELITIAN .....	26
	3.1. Data Data Hasil Penelitian .....	26
	3.2. Koefisien Kerugian Dari Kolektor .....	30
	3.3. Laju Distilasi.....	51
BAB IV	ANALISA DATA HASIL PENGUJIAN .....	61
	4.1. Kaca bening.....	61
	4.1.1. Perpindahan Kalor total.....	61
	4.1.2. Perpindahan Kalor Yang Berguna.....	63
	4.1.3. Perpindahan Kalor Uap.....	64
	4.1.4. Massa Uap.....	65
	4.1.5. Effisiensi.....	66
	4.2. Kaca Hitam.....	67
	4.2.1. Perpindahan Kalor Total.....	67
	4.2.2. Perpindahan Kalor Total.....	68

4.2.3. Effisiensi.....	69
4.2.4. Massa uap.....	70
4.3. Kaca Bening Dengan Pendingin Air .....	71
4.3.1. Perpindahan Kalor Total.....	71
4.3.2. Kalor Yang berguna .....	72
4.3.3. Kalor Uap.....	73
4.3.4. Effisiensi.....	74
4.3.5. Massa Hasil Uap.....	75
BAB VI KESIMPULAN .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	78
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

- Tabel.2.1. Koefisien Konveksi Alam
- Tabel.2.2. Sifat Sifat Air
- Tabel.3.1. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.2. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.3. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.4. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.5. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.6. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002
- Tabel.3.7. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.8. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.9. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 28-11-2002
- Tabel.3.10. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002
- Tabel.3.11. Emisivitas Kaca Bening
- Tabel.3.12. Emisivitas Kaca Hitam
- Tabel.3.13. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.14. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.15. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.16. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.17. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.18. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002

- Tabel.3.19. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002
- Tabel.3.20. Kaca Bening Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.21. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 29-11-2002
- Tabel.3.22. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.23. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.24. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.25. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002
- Tabel.3.26. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.27. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.28. Kaca Hitam Tanggal 23-12-2002
- Tabel.3.29. Kaca Bening Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.30. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.31. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.32. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.33. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.34. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002
- Tabel.3.35. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.36. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.37. Kaca bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.38. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.39. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.40. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002
- Tabel.3.41. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002

- Tabel.3.42. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.43. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.44. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002
- Tabel.3.45. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.46. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.47. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002
- Tabel.3.48. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.49. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 8-12-2002
- Tabel.3.50. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.51. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.52. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.53. Data Penelitian Kaca Bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.54. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.55. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.56. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002
- Tabel.3.57. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.58. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.59. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.60. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.61. Data Penelitian Kaca Bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.62. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.63. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.64. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002

- Tabel.3.65. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.66. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 29-11-2002
- Tabel.3.67. Kaca Hitam Tanggal 23-11-2002
- Tabel.3.68. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 15-11-2002
- Tabel.3.69. Data Penelitian Kaca bening Tanggal 16-11-2002
- Tabel.3.70. Data Penelitian Kaca Bening Tanggal 19-11-2002
- Tabel.3.71. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002
- Tabel.3.72. Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002
- Tabel.3.73. Kaca Hitam Tanggal 6-12-2002
- Tabel 4.1 Kalor Uap
- Tabel 4.2 Perpindahan Kalor Yang berguna
- Tabel 4.3 Perpindahan Kalor Uap
- Tabel 4.4 Massa Uap
- Tabel 4.5 Effisiensi
- Tabel 4.6 Massa Uap (qevap)
- Tabel 4.7 Massa Uap (quap)
- Tabel 4.8 Effisiensi
- Tabel 4.9 Massa hasil uap
- Tabel 4.10 Perpindahan Kalor total
- Tabel 4.11 Perpindahan kalor yang berguna (qu)
- Tabel 4.12 Perpindahan Kalor uap(qevap)
- Tabel 4.13 Effisiensi
- Tabel 4.14 Massa hasil

## DAFTAR GAMBAR

Gambar.1.1 Concentrating Colector Still

Gambar.1.2 Multiple Tray Tilted Still

Gambar.1.3 Tilted Wick Solar Still

Gambar.1.4 Basin Still

Gambar.1.5 Concentrating Colector Still

Gambar.1.6 Sekema Ditilasi Surya

Gambar.1.7 Bagian distilasi Surya

Gambar.2.1. Daerah panjang gelombang dan frekuensi dari radiasi termal serta spectrum elektromagnetik

Gambar.2.2. Kontruksi Radiasi sorotan ,radiasi sebaran dan radiasi pantulan

Gambar.2.3. Pengaruh radiasi datang

Gambar.2.4. System (a)Spekular( $\phi_1 - \phi_2$ ) dan (b) Refleksi baur

Gambar.2.5. Kerugian Panas Kolektor

Gambar.2.6. Koefisien konveksi alam

Gambar.2.7. Sirkuit ekivalen untuk tahanan perpindahan panas melalui bagian atas kolektor

Gambar.2.8. Sifat cair jenuh  $\frac{g\beta\rho^2 C_p}{uk}$  dengan T

Gambar.2.9. Hubungan antara konduktivitas air dengan suhu dari tabel A9



- Gambar.4.1. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor  $U_{ap}(q_{total})$ .
- Gambar.4.2. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor yang berguna ( $q_u$ )
- Gambar.4.3. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor  $U_{ap}(q_{evap})$
- Gambar.4.4. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan massa  $U_{ap}(m_{eva})$  dan massa hasil pengukuran ( $m_p$ )
- Gambar.4.5. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan efisiensi( $\eta$ )
- Gambar.4.6. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan massa  $U_{ap}(m_{eva})$
- Gambar.4.7. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor yang berguna ( $q_u$ )
- Gambar.4.8. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan efisiensi( $\eta$ )
- Gambar.4.9. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan massa hasil ( $m_{hasil}$ )
- Gambar.4.10. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan Kalor total ( $q_{total}$ )
- Gambar.4.11. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor yang berguna ( $q_u$ )
- Gambar.4.12. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan kalor yang berguna ( $q_{uap}$ )
- Gambar.4.13. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan efisiensi( $\eta$ )
- Gambar.4.14. Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan massa hasil ( $m_{hasil}$ )

## NOTASI

K	: Konduktifitas termal material , (W/m.K)
A	: Luas penampang tegak terhadap kalor , (m <sup>2</sup> )
dT/dx	: Gradien temperatur dalam arah aliran kalor, (K/m)
q	: Perpindahan panas konveksi , (W)
h	: Koefisien konveksi .(W/m <sup>2</sup> . K)
A	: Luas permukaan , (m)
T <sub>w</sub>	: Temperatur dinding , (K)
T <sub>f</sub>	: Temperatur fluida , (K)
di	: Laju aliran fluida ,( m .Kg/S)
c	: kecepatan cahaya , (cm/S)
v	: Kecepatan angin , (m/S)
h <sub>i1</sub>	: Koefisien konveksi dalam (plat air) , (W/ m <sup>2</sup> .K)
h <sub>j</sub>	: Koefisien konveksi dalam (air-kaca), (W/m <sup>2</sup> . K)
h <sub>ri</sub>	: Koefisien radiasi dalam , (W/m <sup>2</sup> .K)
h <sub>evap</sub>	: Koefisien penguapan ,(W/m <sup>2</sup> .K)
h <sub>o</sub>	: Koefisien konveksi luar , (W/m <sup>2</sup> .K)
h <sub>ro</sub>	: Koefisien radiasi ,(W/m <sup>2</sup> .K)
l	: Tebal isolasi ,(m)
T <sub>a</sub>	: Temperatur lingkungan, (° c )
T <sub>L</sub>	: Temperatur langit (°K )
T <sub>p</sub>	: Temperatur plat (° c )
U <sub>i</sub>	: Kerugian kalor total (W/m <sup>2</sup> .K)
R	: Tahanan termal kaca (m <sup>2</sup> .° C/W)

## **ABSTRAK**

### **Solar Water Distillation Design**

**Komarudin Yakub**  
**Universitas Sanata Dharma**  
**Yogyakarta**  
**2003**

Distilasi adalah salah satu dari bermacam macam proses pemurnian air yang ada, dan sinar matahari adalah salah satu dari beberapa jenis energi panas yang bisa digunakan sebagai bahan bakar dalam proses distilasi tersebut. Keuntungan dari sinar matahari adalah karena sinar matahari merupakan bahan bakar yang murah akan tetapi ini memerlukan tempat yang banyak (untuk mengumpulkannya ) dan biasanya perlengkapannya lebih mahal.

Distilasi surya menggunakan panas dari sinar matahari langsung yang ditampung di dalam lempengan sederhana dari peralatan tersebut. Biasanya disebut dengan "*solar still*", yang terbuat dari kotak yang berisikan air yang dangkal dengan kaca sebagai penutup transparan.

Radiasi dapat memanaskan air dalam kotak yang menyebabkan penguapan. Uap naik kemudian terkumpul di tutup dan turun ke tempat penampungan, yang tertinggal hanya garam, mineral mineral, kotoran , termasuk juga kuman kuman .

Penjelasan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Energi sinar matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik masuk melewati kaca terang. Kemudian masuk kepermukaan absorber, maka absorber akan menjadi panas dan akan memancarkan gelombang panjang yang akan memanaskan air diatasnya. Air akan panas kemudian mulai menjadi uap.
2. Uap panas akan naik ke daerah yang bertemperatur lebih rendah dan semua kotoran akan tertinggal di dasar kotak air.
3. Uap air akan mengembun di permukaan bagian dalam dari kaca penutup yang bertemperatur lebih rendah.
4. Karena ada factor grafitasi dan kemiringan kaca maka air akan turun dan masuk ketempat penampungan .

## **ABSTRACT**

### **Solar Water Distillation Design**

**Komarudin Yakub  
Sanata Dharma University  
Yogyakarta  
2003**

Distillation is one of many processes available for water purification, and sunlight is one of several forms of heat energy that can be used to power that process. Sunlight has the advantage of zero fuel cost but it requires more space (for its collection) and generally more costly equipment.

Solar distillation uses the heat of the sun directly in a simple piece of equipment to purify water. The commonly called a solar still, consists primarily of a shallow basin with a transparent glass cover. The sun heats the water in the basin, causing evaporation. Moisture rises, condenses on the cover and runs down into a collection trough, leaving behind the salt, minerals, and most other impurities, including germs.

A more technical description follows :

1. The sun's energy in the form of short electromagnetic waves passes through a clear glazing surface such as glass. Upon striking a darkened surface, this light changes wavelength, becoming long waves of heat which is added to the water in a shallow basin below the glazing. As the water heats up, it begins to evaporate.
2. The warmed vapor rises to a cooler area. Almost all impurities are left behind in the basin.
3. The vapor condenses onto the underside of the cooler glazing and accumulates into water droplets or sheets of water.
4. The combination of gravity and the tilted glazing surface allows the water to run down the cover and into a collection trough, where it is channeled into storage.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Tinjauan Umum**

Air merupakan kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan manusia. Karena itu jika kebutuhan akan air tersebut belum tercukupi maka dapat memberikan dampak yang sangat besar terhadap kerawanan kesehatan maupun sosial. Pengadaan air bersih di Indonesia khususnya untuk skala yang besar masih terpusat di daerah perkotaan, dan dikelola oleh Perusahaan Air Minum kota yang bersangkutan. Namun demikian secara nasional jumlahnya masih belum mencukupi. Untuk daerah yang belum mendapatkan pelayanan air bersih umumnya mereka menggunakan air payau, air sungai, air hujan dan lainnya.

Permasalahan yang timbul yakni sering dijumpai bahwa kualitas air yang digunakan masyarakat kurang memenuhi syarat sebagai air minum yang sehat bahkan di beberapa tempat tidak layak untuk minum. Air yang layak diminum, mempunyai standart persyaratan tertentu yakni persyaratan fisis, kimiawi dan bakteriologis, dan syarat tersebut merupakan satu kesatuan. Jadi jika ada satu saja parameter yang tidak memenuhi syarat maka air tersebut tidak layak untuk di minum.

Terbatasnya persediaan air bersih atau air minum yang disebabkan karena banyaknya senyawa kimia (kation-anion) yang terdapat pada air payau maka timbul cara untuk mengolah agar air payau tersebut memenuhi syarat kualitas dan mutu air sebagai air minum

Ada beberapa cara pemurnian air yang salah satunya adalah dengan destilasi. Proses ini membutuhkan energi panas, dan radiasi matahari menyediakan energi sehingga dapat digunakan untuk penyulingan air. Di dalam proses ini, air dipanaskan dengan energi matahari sehingga air akan menguap kemudian uap akan menempel pada permukaan kaca bagian dalam, kemudian ditampung pada tempat penampungan yang sudah tersedia. Pemurnian air dari zat-zat terlarut yang hasilnya disebut sebagai air bersih.

Distilasi sinar surya adalah teknologi matahari dengan sejarah yang sangat panjang dan penerapannya lebih dari 200 tahun yang lalu. Pemanfaatan alat destilasi surya dengan cara menampung panas dengan plat absorber. Untuk itu di butuhkan peralatan yang berfungsi untuk mengumpulkan energi radiasi yang berasal dari sinar matahari dan peralatan ini disebut "*solar still*" dengan komponen utama kotak penampung yang dangkal dengan penutup kaca terang. Matahari memanaskan air didalam kotak penampungan tersebut, dan air akan menguap. Uap akan naik kemudian terkumpul dikaca bagian dalam dengan kemiringan  $15^\circ$  yang bertemperatur lebih rendah dari temperatur uap kemudian mengalir turun ke tempat penampungan dan dikotak penampungan air yang tertinggal hanya garam, mineral, dan kotoran lain serta kuman-kuman yang berbahaya.

Pemanfaatan distilasi surya pada abad enambelas. Pada awal penggunaannya dibuat alat destilasi air dengan energi matahari yang sangat besar, dibangun pada tahun 1872 untuk mencukupi kebutuhan air minum di daerah penambangan di Chile. Jumlah produksi yang dihasilkan untuk pertama kalinya dibuat selama perang dunia kedua sejumlah 200,000 plastik

terang digunakan untuk angkatan laut Amerika Serikat selama disekoci sekoci perang untuk bertahan hidup.

## **1.2 Faktor Pertimbangan Dalam Pemilihan Distilasi Surya**

Proses utama yang terjadi pada destilasi surya adalah pemanasan dengan energi oleh sinar matahari didalam suatu ruangan tertutup yang berisi air dan dinding-dindingnya diisolasi agar tidak terjadi kerugian kalor yang besar dari sistem ke lingkungan.

1.2.1 Manfaat yang didapat dari destilasi surya khususnya bagi negara berkembang antara lain:

- Distilasi surya ini dapat menghasilkan air bersih yang murah baik air untuk minum, memasak, mencuci ataupun untuk mandi (empat kebutuhan dasar manusia).
- Meningkatkan standar mutu kesehatan yaitu dengan menghilangkan kotoran dari penampungan air yang masih diragukan.
- Meningkatkan standar mutu air bersih yang ada di daerah-daerah tetapi dengan kualitas dan kuantitas air yang kurang memadai , untuk daerah tepi laut dapat mendestilasi air laut sehingga tidak tergantung pada air hujan.
- Dapat membantu perindustrian rakyat, peternakan hewan atau pertanian hydroponic untuk produksi makanan di daerah-daerah yang sedikitnya persediaan air bersih. Untuk para nelayan cukup

efektif karena pada waktu ditengah laut persediaan air minum yang dibawanya habis maka bisa memanfaatkan alat ini.

- Dapat digunakan pada daerah-daerah dengan jumlah penduduk yang padat dan banyak polusinya maka destilasi surya ini akan sangat efektif.

### 1.2.2 Penerapan destilasi surya:

Energi yang didapat secara cuma cuma dari sinar matahari diproses untuk penyulingan air secara bebas. Untuk menghasilkan air bersih dari destilasi ini kita mendapatkan energi secara cuma cuma, tetapi untuk pembuatan alat kita membutuhkan biaya yang tidak murah . Biasanya destilasi ini digunakan untuk pemurnian air yang diminum, pada skala besar antara lain untuk bisnis, industri, laboratorium, penerapan efek rumah kaca. Ini hanya bisa digunakan untuk memurnikan air tercemar.

- Distilasi air untuk pengairan

Untuk lahan pertanian, solar still tidak terlalu menguntungkan. Karena untuk pengairan yang dalamnya satu meter dari pengairan air per tahun menghasilkan panen di musim kering, dimana *solar still* bisa menguapkan sekitar dua meter lebarnya. Pada satu meter persegi dari *solar still* bisa mengairi dua meter persegi dari tanah tersebut. Tetapi untuk pertanian hipotonik sangat menguntungkan .

- Penjernihan air kotor

Walaupun kelihatan mungkin bisa dilakukan, jika kotoran itu mengeluarkan gas yang bau maka sebagian gas tersebut akan menguap dan bergabung dengan uap air.



- Penjernihan air yang tercampur alcohol

Jika air tercemar alcohol, maka dapat dipisahkan dari air. Tetapi membutuhkan waktu dua sampai tiga kali penyulingan. Maka untuk suatu proses penyulingan diperlukan energi yang banyak dan akan mengakibatkan kerugian produksi. Sehingga destilasi surya akan bermanfaat.

- Penjernihan air yang tercemar

Dari penelitian diketahui bahwa *solar still* bisa menghilangkan bakteri yang terkandung dalam air. Dan air bersih yang dihasilkan tidak mengandung zat berbahaya ataupun racun.

### 1.3 Pengoperasian Destilasi Surya

#### 1.3.1 Teori umum dari destilasi surya

Distilasi adalah proses perpindahan molekul-molekul dari permukaan air menuju ke permukaan kaca. Ini terjadi karena ada panas yang masuk kedalam air, dimana panas menyebabkan pergerakan molekul secara tidak teratur akan tetapi secara konstan. Karena adanya energi yang masuk maka mereka bergerak lebih cepat yang akan terlepas ke daerah yang temperaturnya lebih rendah yaitu pada permukaan kaca bagian dalam dan terkumpul menjadi titik-titik embun kemudian ditampung .

#### 1.3.2 Proses destilasi surya

- a. Energi sinar matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau gelombang pendek masuk melewati kaca terang. Kemudian

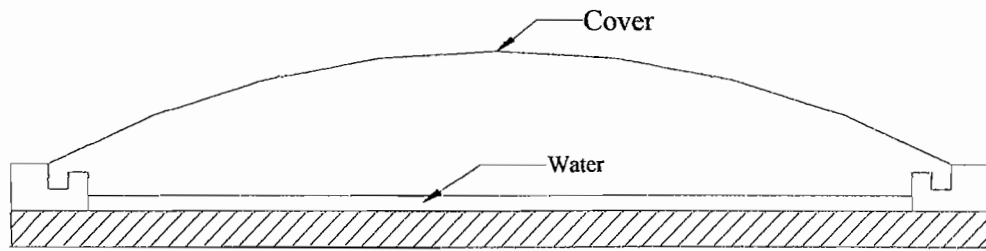
- masuk kepermukaan absorber, cahayanya masuk menjadi gelombang panjang yang memanaskan absorber yang diteruskan ke air. Maka air akan panas lalu mulai menjadi menguap.
- b. Uap panas akan naik dan ke daerah yang temperaturnya rendah. Hampir semua kotoran tertinggal didasar kolam.
  - c. Uap air tersebut akan mengembun dipermukaan kaca yang temperaturnya dan terkumpul menjadi titik-titik air atau lapisan lapisan air.
  - d. Karena factor gravitasi dan kemiringan kaca maka air akan mengalir kebawah dan masuk ketempat penampungan yang tersedia.

#### **1.4 Jenis-jenis Perancangan Solar Still**

Jenis perancangan solar still terbagi atas empat kategori umum,yaitu :

##### **1. Concentrating Collector Still**

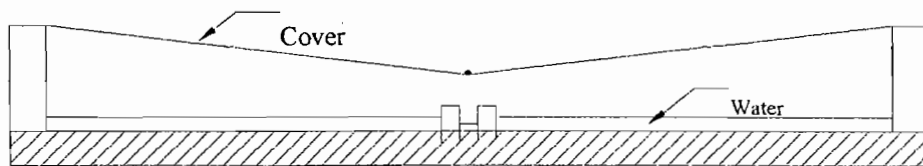
Pengkonsetrasian sinar matahari dilakukan dengan menggunakan kaca parabolic untuk memusatkan cahaya matahari pada ruang tertutup. Pemusatan sinar matahari akan mengakibatkan suhu ruangan menjadi tinggi dan akan menyebabkan air yang ada di dalamnya menjadi panas dan akan terjadi penguapan.



Gambar 1-1 Concentrating Colector Still

## 2. Multiple Tray Tilted Still

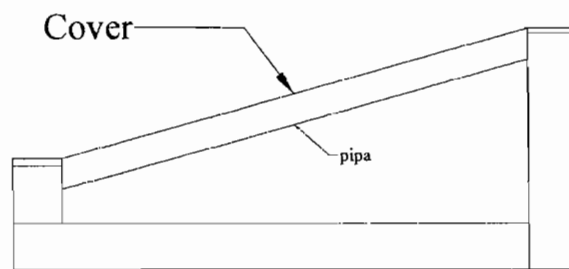
Penampang kaca terang dari perancangan ini adalah miring dan saling berlawanan. Akan tetapi untuk plat kolektornya tetap horizontal. Konsentrasi uap yang terjadi akan turun ketengah-tengah kedua plat tersebut.



Gambar 2-2 Multiple Tray Tilted Still

### 3. Tilted Wick Solar Still

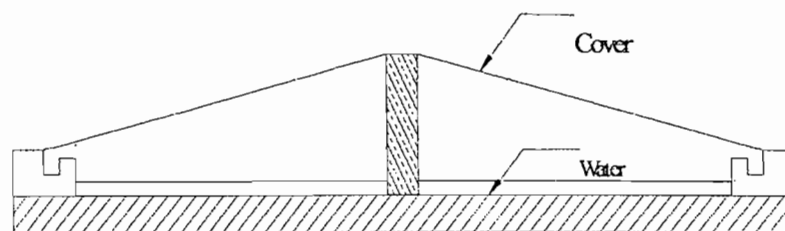
Pada perancangan ini menggunakan tutup kaca terang dan didalamnya terdapat pipa untuk mengalirkan air dari atas menuju kebagian bawah dari alat tersebut. Kaca penutup dan pipa hitam untuk mengalirkan air tersebut berada pada posisi miring



Gambar 1-3 Tilted Wick Solar Still

### 4. Basin Still

Jenis kolam ini adalah suatu jenis yang sudah umum digunakan walaupun pembuatannya tidak ada. Dimana pembuatannya pun dapat dalam banyak jenis.



Gambar 1-4 Basin Still

Empat komponen utama dari basin still :

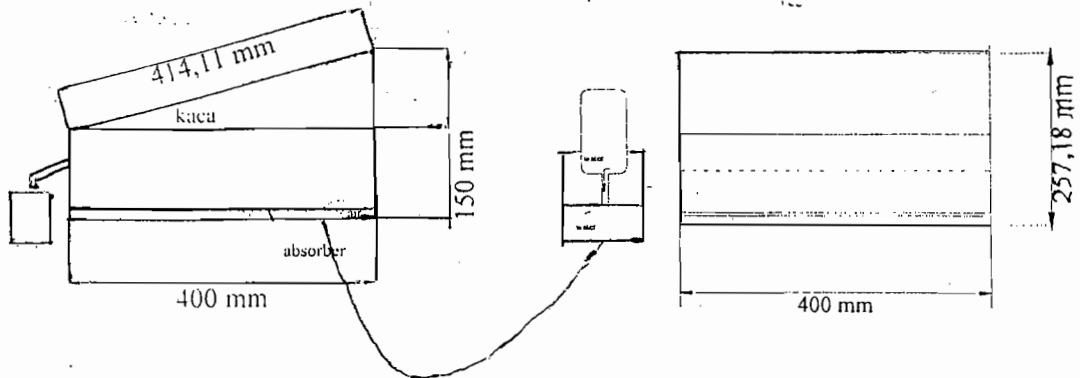
1. Kolam
2. Kerangka
3. Tutup kaca transparan
4. Bak distilasi atau penampungan air

Komponen tambahan lain :

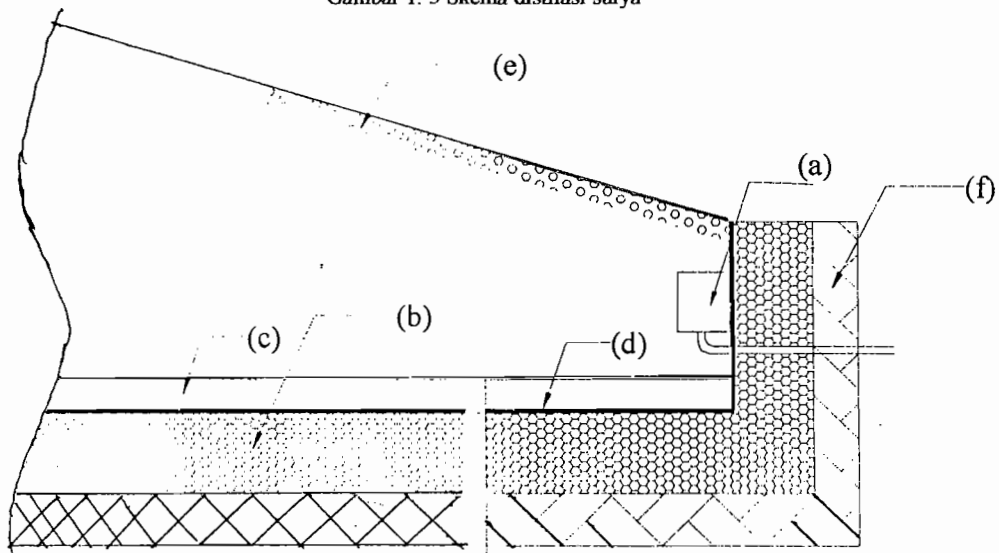
1. Isolasi
2. Sealant
3. Pipa dan katup
4. Tempat penampungan hasil distilasi

#### **1.4 Mekanisme Kerja Distilasi Surya**

Sebuah kotak yang berisikan air yang dangkal, dengan kedalaman 50 mm ditutup oleh kaca. Air yang dipanaskan oleh radiasi surya, sebagian menguap, sebagian dari uap itu mengembun pada bagian bawah dari permukaan kaca yang temperaturnya rendah. Kaca tersebut dimiringkan  $15^\circ$  untuk memungkinkan kondensat mengalir karena gaya beratnya ke dalam saluran penampungan dan dari situ air kemudian masuk kedalam penampungan akhir. Ini dapat dilihat pada gambar 1-5 dan 1-6 dibawah ini.



Gambar 1. 5 Skema distilasi surya



Gambar 1-6 Bagian distilasi surya

Keterangan :

- a. Tempat paenampungan
- b. Isolasi gabus
- c. Air
- d. Plat hitam
- e. Embun
- f. Isolasi papan

### 1.5 Batasan Masalah

Distilasi surya merupakan pengembangan dari pemanfaatan energi surya. Sistem kerja dari distilasi surya ini sangat sederhana, karena kita hanya menampung panas dari radiasi matahari kemudian panas tersebut diteruskan kedalam air, maka air akan panas dan terjadilah penguapan selanjutnya akan bersentuhan dengan kaca yang temperaturnya lebih rendah, maka terjadi pengembunan.

Dalam tugas akhir ini akan dibahas tentang hubungan kondisi destilasi dengan membandingkan jenis jenis kaca : kaca bening, kaca hitam, kaca bening dengan pendingin air, serta parameter lainnya seperti temperatur plat, udara sekitar, air, kaca .

## BAB II DASAR TEORI

### II.1 Tinjauan Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua benda . Perpindahan kalor dapat terjadi secara: konduksi, konveksi dan radiasi dapat pula terjadi secara gabungan ataupun salah satunya

#### II.1.1 Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor yang melalui suatu media padat. Panas mengalir dari temperatur tinggi ke daerah yang temperature rendah. Laju perpindahan kalor konduksi dinyatakan dengan hukum Fourier

$$q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right) (\text{Watt}) \quad (2-1)$$

dengan;

k : konduktivitas benda ,W/(m.K);

A : luas penampang tegak lurus terhadap aliran kalor,(m<sup>2</sup>)

dT/dx : gradien temperatur dalam arah aliran kalor,( K/m).

Konduktivitas termal dari beberapa bahan logam dan non-logam yang digunakan pada pembuatan alat destilasi air dalam TGA ini dapat dilihat dalam lampiran tabel-A.



### II.1.2 Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan energi antara suatu permukaan dengan fluida yang bergerak di atasnya.

Mekanisme perindahan kalor konveksi adalah :

- Transfer energi karena adanya gerakan molekul secara acak.
- Transfer energi karena adanya gerakan fluida.

Perpindahan kalor konveksi dapat di bagi menjadi dua macam , yaitu:

- Konveksi paksa

Adalah konveksi yang terjadi pada permukaan logam yang dipanasi yang dialiri udara .

Contohnya adalah pada suatu alat pemanas surya ada aliran udara dan udara tersebut disebabkan oleh blower .

- Konveksi bebas

Adalah konveksi yang gradien massa jenis disebabkan karena fluida yang di dekat permukaan menjadi lebih panas sehingga gradien massa jenisnya lebih kecil dari gradien massa jenis fluida yang berada lebih jauh.

Pada umumnya, perpindahan panas konveksi dapat dinyatakan dengan hukum perpindahan Newton, sebagai berikut:

$$q = hA(T_w - T_f) W \quad (2-2)$$

dengan;

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

A : Luas permukaan,  $(m^2)$

$T_w$  : Temperatur dinding, (K)

$T_f$  : Temperatur Fluida, (K)

Koefisien konveksi  $h$  dinyatakan dengan parameter tanpa dimensi yang disebut bilangan Nusselt (menurut nama dari Wilhelm Nusselt).

$$N_U = hd_i/k \quad (2-3)$$

dengan;

$k$  : Konduktivitas panas (W/m.K)

$d_i$ : Laju aliran fluida (m.Kg/S)

$h$  : Koefisien konveksi (W/m<sup>2</sup>·K)

### II.1.3 Radiasi

Perpindahan kalor netto secara radiasi antara dua benda hitam dapat dinyatakan dengan persamaan

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)W \quad (2-4)$$

dengan:

$\sigma$  : Konstanta Stefan-Boltzman,  $5.67 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

$A$  : Luas permukaan,( m<sup>2</sup>)

$T_{1,2}$ : Temperatur benda,( K<sup>4</sup>)

Dalam kenyataan , Banyak permukaan bukan merupakan pemancar ataupun penyerap yang sempurna. Permukaan “kelabu” semacam ini ditandai oleh fraksi-fraksi dari jumlah ideal yang dipancarkan ( $\epsilon$ , emisifitas) dan diserap ( $\alpha$ , absorpsifitas).

## II.2 Radiasi Surya

Ada beberapa jenis radiasi elektromagnetik; radiasi termal adalah salah satu diantaranya dan radiasi surya mempunyai bagian dari radiasi termal. Semua radiasi merambat dengan kecepatan cahaya,  $3 \times 10^{10}$  cm/s. Kecepatan ini sama dengan hasil perkalian panjang gelombang dengan frekuensi radiasi,

$$c = \lambda \nu$$

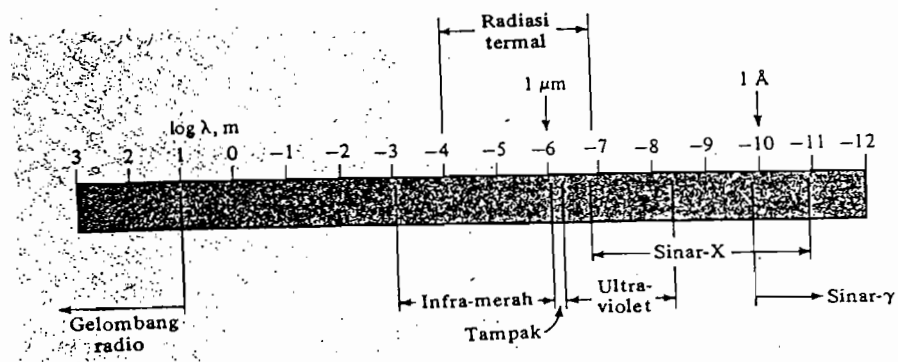
dengan :

$c$  = Kecepatan cahaya (c.m/s)

$\lambda$  = Panjang gelombang ( m )

$\nu$  = Kecepatan angina (m/S )

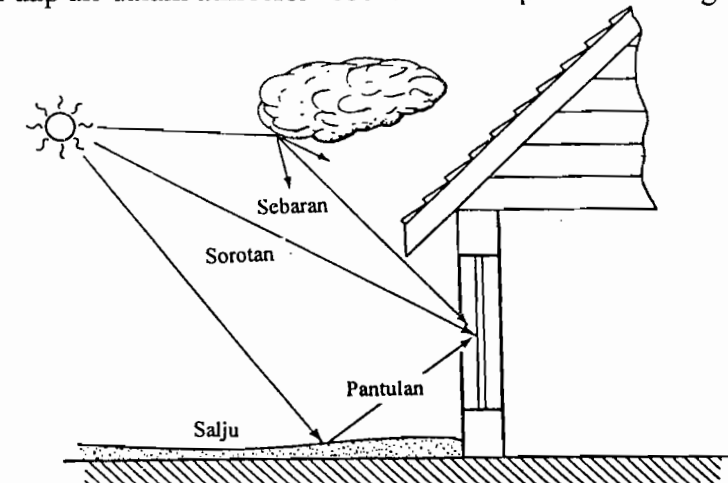
Satuan  $\lambda$  boleh sentimeter, angstrom ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$  cm) atau micrometer ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$  m). dalam gambar 2-1 diperlihatkan panjang gelombang dan frekuensi dari radiasi termal dan posisi spectrum elektromagnetik.



Gambar 2-1 Daerah panjang gelombang dan frekuensi dari radiasi termal serta spektrum elektromagnetik

Radiasi surya adalah radiasi gelombang pendek yang diserap oleh pelat penyerap sebuah kolektor surya. Radiasi global yang tersedia di luar atmosfer

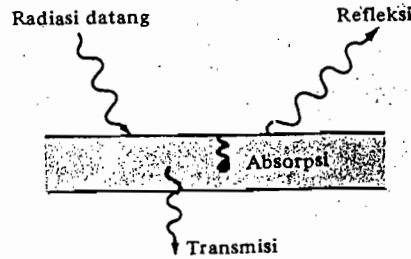
bumi sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$ . Akan tetapi radiasi ini berkurang karena adanya penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet); karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang 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, radiasi sebaran dan radiasi pantulan

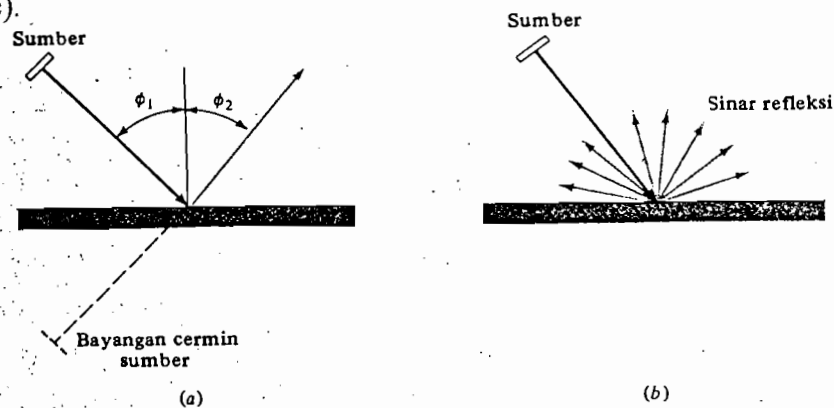
Selain radiasi sorotan dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan; jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi  $\alpha$  (albeldo) dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima.

Untuk suatu permukaan, bila energi radiasi mengenai suatu bahan, maka sebagian radiasi itu dipantulkan (refleksi), sebagian diserap (absorpsi), dan sebagian lagi diteruskan (transmisikan)



Gambar 2-3 Pengaruh radiasi datang.

Dan untuk refleksi, ada dua fenomena yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dikatakan refleksi tersebut spekular. Dan apabila berkas itu tersebar secara merata ke segala arah sesudah refleksi, maka refleksi tersebut disebut baur (diffuse).

Gambar 2-4 (a) Spekular( $\phi_1 - \phi_2$ ) dan (b) Refleksi baur

### II.3 Kolektor Surya

Kolektor surya yang digunakan pada perancangan ini berbentuk kotak yang terbuat dari seng dengan tebal 0,5 mm yang di cat hitam yang diisi air. Radiasi surya ditransmisikan melalui kaca transparan dan diserap oleh kotak plat penyerap. Bagian dasar dan sisi-sisi kotak diisolasi dengan gabus dan kayu.

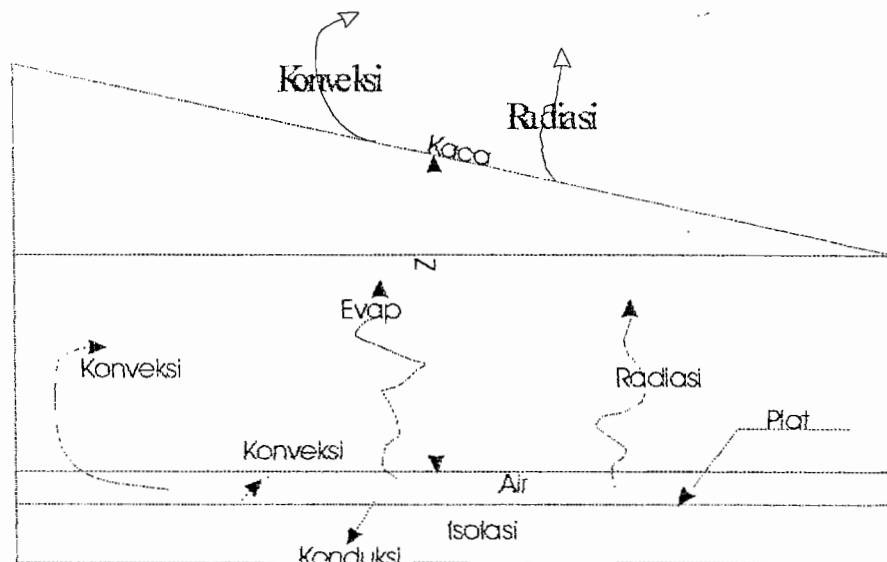
### Koefisien Kerugian, $U_L$

Mekanisme kerugian kalor dari plat penyerap dalam gambar 2-5 adalah sebagai berikut. Kalor hilang dari bagian atas plat penyerap karena konveksi kaca alamiah ke air.

Dan dari air ke penutup kaca terjadi konveksi, radiasi serta proses penguapan ke permukaan dalam dari penutup kaca. Kalor ini dikonduksikan ke permukaan penutup kaca ke permukaan luarnya, akan tetapi karena ketebalan kacanya hanya kecil maka dapat kita anggap bahwa suhu kaca dalam dan kaca luar adalah sama. Kemudian dari kaca kalor dipindahkan ke lingkungan secara konveksi dan radiasi.

Kerugian kalor dari kaca ke lingkungan dapat disebut sebagai kerugian atas (top loss), dan dinyatakan dengan persamaan

$$q = U_t(T_p - T_a) \text{ W/m}^2 \quad (2-5)$$



Gambar 2-5 Kerugian panas kolektor

Dimana  $U_t$  disebut koefisien kerugian atas,  $W/(m^2 \cdot K)$ , dan  $T_p$  dan  $T_a$  masing-masing adalah temperatur plat dan temperatur lingkungan. Kebalikan dari  $U_t$ ,  $1/U_t$  adalah jumlah tahanan terhadap perpindahan panas dari plat ke lingkungan yang dinyatakan oleh sirkuit seri-paralel sederhana tersebut dalam gambar 2-5.

Dalam sirkuit ini,

a.  $h_{i1}$  = koefisien konveksi dalam (plat-air). ( $W/m^2 K$ )

b.  $h_j$  = koefisien konveksi dalam (air-kaca). ( $W/m^2K$ )

c.  $h_{ri}$  = koefisien radiasi dalam. ( $W/m^2K$ )

d.  $h_{evap}$  = koefisien penguapan. ( $W/m^2K$ )

e.  $h_o$  = koefisien konveksi luar. ( $W/m^2K$ )

f.  $h_{ro}$  = koefisien radiasi luar. ( $W/m^2K$ )

g.  $R$  (kaca) = harga  $R$  dari kaca, tebal/konduktifitas termal =  $t/k$  ( $m^2 \cdot K/W$ ).

karena dalam suatu sirkuit paralel konduktansi-konduktansi dijumlahkan, dan dalam suatu sirkuit seri tahananannya dijumlahkan, maka tahanan total yang ditulis

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_i + h_{ri} + h_{evap}} + \frac{t}{k}(\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}} \quad (2-6)$$

Koefisien konveksi alam antara air dengan kaca dapat kita ketahui dengan gambar 2-6 dan dinyatakan dari sela  $z$ , antara plat penyerap dan penutup kaca. Fungsi  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  dan  $\phi_3$  didefinisikan sebagai berikut:





Berikut analisis dari rangkaian dari gambar 2-6 diatas :

a. Koefisien konveksi dalam (hi) antara plat dan air.

Koefisien perpindahan kalor rata-rata dari plat horizontal dihitung dengan persamaan yang diambil untuk fluk kalor tetap plat horizontal. Untuk muka yang dipanaskan menghadap keatas, maka

$$\overline{Nu}_L = 0,13 (Gr_L Pr)^{1/3} \text{ untuk } Gr_L Pr < 2 \times 10^8 \quad (2-9)$$

dan

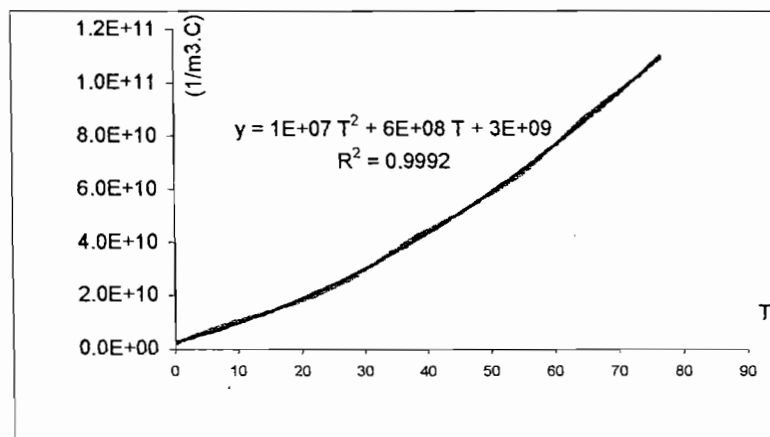
$$\overline{Nu}_L = 0,16 (Gr_L Pr)^{1/3} \text{ untuk } 2 \times 10^8 < Gr_L Pr < 10^{11} \quad (2-10)$$

Angka Nusselt, dibentuk oleh:

$$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k} = \frac{q_w L}{(T_w - T_\infty)k} \quad (2-11)$$

Kita bisa mendapatkan beberapa harga sifat-sifat air dapat dilihat dari tabel lampiran A-9 dengan menggunakan suhu rata-rata dari kedua sistem,

$$T_f = \frac{T_p + T_w}{2} \quad (2-12)$$



Gambar 2-8 Sifat cair jenuh  $\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$  dengan T

Tabel 2-2 Sifat-sifat air

$T_f(^{\circ}\text{C})$	0	4,44	10	15,56	21,11	26,67	32,22
$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$	$1,91 \cdot 10^9$	$6,34 \cdot 10^9$	$1,08 \cdot 10^{10}$	$1,46 \cdot 10^{10}$	$1,91 \cdot 10^{10}$	$2,48 \cdot 10^{10}$	$3,3 \cdot 10^{10}$

$T_f(^{\circ}\text{C})$	37,78	43,33	48,89	54,44	60	65,55	76,67
$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$	$4,19 \cdot 10^{10}$	$4,89 \cdot 10^{10}$	$5,66 \cdot 10^{10}$	$6,48 \cdot 10^{10}$	$7,62 \cdot 10^{10}$	$8,84 \cdot 10^{10}$	$1,09 \cdot 10^{11}$

Maka dari gambar diatas kita dapatkan suatu persamaan :

$$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k} = y = 1E+07T^2 + 6E+08T + 3E+09 \quad (2-13)$$

Hubungan antara angka Grashof dan angka Prandtl  $Gr_L Pr$  adalah

$$Gr_L Pr = \left( \frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k} \right) L^3 \Delta T \quad (2-14)$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata plat horisontal diambil dari angka Nusselt (persamaan 2-12) yaitu

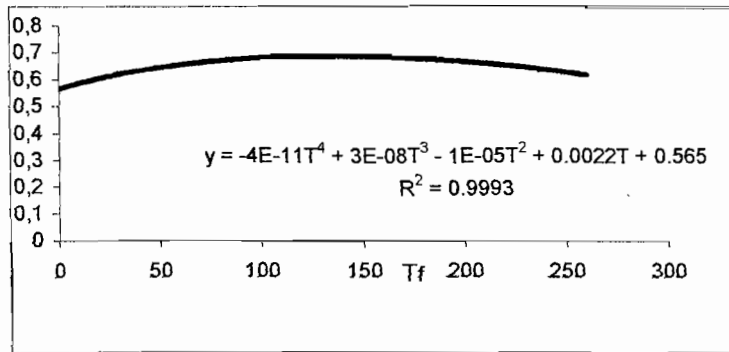
$$h_i = \frac{k \cdot \overline{Nu}_L}{L} \quad (2-15)$$

dengan,

$L$  : panjang sisi bujur sangkar , (m)

$\Delta T$  : perubahan suhu yang terjadi dari kedua kita system ,(C<sup>o</sup>)

$k$  : dapat ambil dari gambar dibawah ini, (W/m.C )



Gambar 2-9 Hubungan antara konduktivitas air dengan Suhu dari tabel A-9

Tabel 2-2 Sifat-sifat air

$T_f$	0	4,44	10	15,56	21,11	26,67	32,22	37,78	43,33	48,89	54,44
k	0,566	0,575	0,585	0,595	0,604	0,614	0,623	0,63	0,637	0,644	0,649

$T_f$	60	65,55	71,11	76,67	82,22	87,78	93,33	104,4	115,6	126,7	137,8
k	0,654	0,659	0,665	0,668	0,673	0,675	0,678	0,684	0,685	0,685	0,685

Dari gambar diatas kita dapatkan persamaan :

$$k = y = -4E-11T^4 + 3E-08T^3 - 1E-05T^2 + 0,0022T + 0,565 \quad (2-16)$$

b. Koefisien konveksi radiasi (hri) antara air dan kaca.

-Perpindahan kalor radiasi

$$h_{ri} = \frac{\sigma(T_w^4 - T_c^4)}{\left[ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right] (T_w - T_c)} \quad W/(m^2.K) \quad (2-17)$$

- c. Koefisien konveksi luar ( $h_o$ ) dan koefisien radiasi ( $h_{ro}$ ) antara kaca dan lingkungan.

- Koefisien konveksi luar,

$$h_o = 5,7 + 3.8V \quad (2-18)$$

di mana V adalah kecepatan angin rata rata dalam m/s

Dimana T langit diperkirakan oleh swinbank sebagai

$$T \text{ langit} = 0.0552 (T_a^{3/2}) \text{ K}$$

- Koefisien radiasi luar ekivalen dapat ditulis sebagai

$$h_{ro} = \frac{\epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_{\text{langit}}^4)}{T_c^4 - T_{\text{langit}}^4} \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)} \quad (2-19)$$

- d. Tahanan termal kaca.

$$R (\text{kaca}) = \frac{t}{K} \cdot (\text{K /W)} \quad (2-20)$$

t = Tebal kaca, (m)

K = Konduktivitas termal kaca, (m<sup>2</sup>.K/W)

#### II.4 Distilasi Surya

Energi radiasi yang diserap oleh kolektor sebesar  $(\tau\alpha) G_T$ , dipindah ke kaca bagian dalam secara konveksi ( $q_{kon}$ ), radiasi ( $q_{rad}$ ), dan penguapan ( $q_{uap}$ ).

Dalam analisis ini dimisalkan bahwa kehilangan kalor melalui alas dan sisinya dapat diabaikan.

Keseimbangan energi dalam air menghasilkan :

$$(\tau\alpha) G_T = q_{konv} + q_{rad} + q_{uap} \quad \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad (2-21)$$

dengan komponen konveksi adalah :

$$q_{\text{konv}} = 8,84 \times 10^{-4} \left[ T_w - T_c + \frac{P_w - P_c}{268,9 \times 10^3 - P_w} \times T_w \right]^{1/3} \times (T_w - T_c) \text{ kW/m}^2 \quad (2-22)$$

dengan  $P_w$  dan  $P_c$  adalah tekanan parsial uap air ( $\text{N/m}^2$ ) yang diperoleh dari tabel uap pada temperatur (K) air dan tutup ( $T_c$ ).

Persamaan diatas didasarkan pada modifikasi hubungan antara bilangan Nusselt dan bilangan grashof untuk ruang udara yang horizontal dan tertutup.

Komponen penguapan adalah :

$$q_{\text{uap}} = 16,27 \times 10^{-3} q_{\text{konv}} \left[ \frac{P_w - P_c}{T_w - T_c} \right] \text{ kW/m}^2 \quad (2-23)$$

Dengan komponen radiasi adalah :

$$q_{\text{rad}} = \sigma \epsilon_w (T_w^4 - T_c^4) \text{ kW/m}^2 \quad (2-24)$$

Dengan emisivitas air  $\epsilon_w = 0,95 - 0,963$  (tabel A-10)

Laju distilasi (kecepatan perpindahan massa penguapan)  $m_{\text{uap}}$  ditentukan dari

$$m_{\text{uap}} = \frac{q_{\text{uap}}}{h_{fg}} \text{ L/(jam.m}^2\text{)} \quad (2-25)$$

Efisiensi harian sebuah penyulingan dapat dinyatakan dalam panas laten dari produksi air harian sebagai fraksi harian yang masuk.

$$\eta = \frac{q_{\text{berguna}}}{q_{\text{total}}} \quad (2-26)$$

Perpindahan kalor total adalah sebagai berikut:

$$q_{\text{total}} = q_{\text{konv}} + q_{\text{konvl}} + q_{\text{rad}} + q_{\text{uap}} + q_{\text{top}} + q_{\text{bawah}} \text{ (kW/m}^2\text{)} \quad (2-27)$$



## BAB III

### DATA DAN PERHITUNGAN HASIL PENELITIAN

#### III.1 Data-Data Hasil Penelitian

Dari alat yang telah dibuat dan data yang didapat untuk beberapa kondisi alat dan hari yang berbeda untuk setiap pengambilan data, maka dapat diperoleh hasil pengambilan data yang berbeda pula untuk setiap kondisinya baik untuk temperature ataupun hasil air sulingnya. Selain pengambilan data didalam terbuka dengan menggunakan sinar matahari juga dilakukan pengambilan data didalam ruangan dengan menggunakan lampu halogen 150 W sebanyak 9 buah.

Data penelitian yang diperoleh dapat dilihat pada table dibawah ini:

Tabel 3-1 Data penelitian untuk kaca bening pada tanggal 15-11-2002 diluar

Waktu	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Hasil
9:00	29	29	30	28	40	28	
10:00	60	62	57	35	97	35	
11:00	65	67	61	35	105	34	10.5
12:00	67	68	63	38	61	31	12
13:00	63	63	55	36	86	30	37.5
14:00	59	59	49	35	51	30	43
						Total	103 (mL)

Tabel 3-2 Data penelitian untuk kaca bening pada tanggal 16-11-2002 diluar

Waktu	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Hasil
9:00	42	43	41	30	73	26	
10:00	67	68	64	35	98	28	27
11:00	70	70	66	36	103	31	39
12:00	77	78	70	41	101	32	68
13:00	73	73	67	43	102	32	56.5
14:00	59	57	50	37	47	31	55
						Total	245.5 (mL)

Tabel 3-3 Data penelitian untuk kaca bening tanggal 19-11-2002 diluar

Waktu	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Hasil
9:00	31	32	30	28	41	28	
10:00	57	57	55	30	97	29	
11:00	63	63	58	32	99	29	37
12:00	65	64	60	36	75	31	48
13:00	69	69	62	37	100	32	48
14:00	57	57	50	35	72	33	48
Total							181 (mL)

Tabel 3-4 Data penelitian untuk kaca bening pada tanggal 27-11-2002 didalam

Waktu (mnt)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	Hasil
0	28	28	28	28	29	29	
30	38	41	49	35	68	30	
60	44	46	49	36	70	31	
90	50	52	53	36	71	31	
120	51	53	51	36	71	31	4
150	55	56	55	36	69	29	4
180	56	58	57	36	69	29	6
Total							14 (mL)

Tabel 3-5 kaca hitam tanggal 23-11-2002 diluar

Waktu	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil (mL)
9:00	28	28	30	28	37	27	
10:00	35	35	43	31	72	31	10
11:00	39	40	45	31	64	29	1.5
12:00	48	49	50	34	76	31	0
13:00	53	54	49	35	56	30	0
14:00	49	49	45	32	57	29	0
Total							11.5

Tabel 3-6 kaca hitam tanggal 06-12-2002 didalam

Waktu (menit)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil (mL)
0	33	31	30	34	35	29	
30	44	46	53	35	69	30	
60	49	51	57	36	70	30	
90	52	54	58	37	70	30	
120	54	56	59	37	70	30	
150	57	58	60	38	70	30	
180	58	59	61	38	70	30	
210	59	61	61	39	71	30	
240	60	61	62	39	71	30	

Tabel 3-7 kaca bening dengan pendingin air tanggal 25-11-2002 diluar

Waktu	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil (mL)
10:00	30	31	32	27	65	26	
11:00	40	41	37	29	80	27	
12:00	43	43	38	30	55	27	16
13:00	43	43	37	30	42	27	3
14:00	48	48	42	30	83	28	8
15:00	48	48	40	33	41	30	10
Total							37

Tabel 3-8 kaca bening dengan pendingin air tanggal 27-11-2002 diluar

Waktu	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil (mL)
10:00	28	28	30	28	44	28	
11:00	36	37	34	29	49	28	
12:00	38	39	34	29	46	28	4
13:00	41	42	37	30	62	28	11
14:00	42	43	37	29	49	22	4
Total							19

Tabel 3-9 kaca bening dengan pendingin air tanggal 28-11-2002 diluar

Waktu	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil (mL)
9:00	29	29	29	27	45	26	
10:00	42	42	35	29	69	27	8
11:00	49	50	45	30	95	28	16
12:00	56	56	46	33	62	29	29
13:00	50	50	43	31	45	28	23
14:00	48	48	42	30	73	27	11
Total							87

Tabel 3-10 kaca terang dengan pendingin air tanggal 26-11-2002 didalam

Waktu	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Hasil(ml)
0	33	31	30	34	35	29	
30	44	46	53	35	69	30	
60	49	51	57	36	70	30	
90	52	54	58	37	70	30	
120	54	56	59	37	70	30	
150	57	58	60	38	70	30	
180	58	59	61	38	70	30	
210	59	61	61	39	71	30	
240	60	61	62	39	71	30	



Tabel 3-12 Emisivitas kaca bening

Ts	R	Ts	Ta	qb	E
30	5	303	300	27,97	1,499
35	10	308	300	55,9	1,096
40	15	313	300	83,85	0,987
45	19	318	300	106,21	0,88
50	23	323	300	128,57	0,81
55	29	328	300	162,11	0,823
60	40	333	300	223,6	0,94
65	45	338	300	251,55	0,896
70	48	343	300	268,32	0,824
					E rata rata = 0,9734

Tabel 3 -13 Emisivitas kaca hitam

Ts	R	Ts	Ta	qb	E
30	5	303	299	27.95	1.1297
35	10	308	299	55.9	0.9794
40	16	313	299	89.44	0,987
45	21	318	299	117.39	0,88
50	26	323	299	145.34	0.8863
55	33	328	299	184.47	0.9083
					E rata rata = 0,9734

Keterangan :

- T1 = Temperatur plat hitam (°C)
- T2 = Temperatur air (°C)
- T3 = Temperatur kaca (°C)
- T4 = Temperatur papan luar dari alat (°C)
- T5 = Temperatur plat pembanding (°C)
- T6 = Temperatur udara sekitar (°C)
- R = Radiometer (W/m<sup>2</sup>)
- Ts = Temperatur yang terbaca pada Radiometer (°C)
- Ta = Temperatur udara (°C)
- qb = 5.59 x R (W/m<sup>2</sup>)

$$- E = \text{Emisivitas bahan} \frac{qb}{\sigma(T_s^4 - T_a^4)}$$

### III.2 Koefisien Kerugian Dari Kolektor

Dari mekanisme kerugian kalor dari plat penyerap yang ada pada gambar 2-5 dan gambar 2-6 maka kita dapat menghitung :

- Koefisien konveksi dalam ( $h_i$ ) antara plat dan air.
- Koefisien konveksi dalam ( $h_{i1}$ ) dan koefisien radiasi ( $h_{ri}$ ) antara air dan kaca.
- Koefisien konveksi luar ( $h_o$ ) dan koefisien radiasi ( $h_{ro}$ ) antara kaca dan lingkungan.
- Harga tahanan termal  $R$  dari kaca dan koefisien kerugian total  $U_L$ .

Pada pengambilan data dengan kaca terang, untuk data pada table 3-1 dengan asumsi dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Koefisien konveksi dalam ( $h_i$ ) antara plat dan air.

Koefisien perpindahan kalor rata-rata dari plat horizontal dihitung dengan persamaan yang diambil untuk fluk kalor tetap plat horizontal. Untuk permukaan yang dipanaskan menghadap keatas.

Untuk langkah perhitungan awal kita cari harga  $T_f$  dari persamaan 2-13 :

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{T_p + T_w}{2} \\ &= \frac{77 + 78}{2} = 77,5 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari persamaan 2-14 maka kita dapatkan :

$$\begin{aligned}\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k} &= y = 1E+07T^2 + 6E+08T + 3E+09 \\ &= ((1E+07) \times (77,5)^2) + ((6E+08) \times 77,5) + (3E+09) \\ &= 1,106.10^{11} (1/m^3 \cdot ^\circ C)\end{aligned}$$

Kemudian kita kalikan angka Grashof dan angka Prandtl (persamaan 2-15)

yaitu :

$$\begin{aligned}Gr_L Pr &= \left(\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}\right)L^3\Delta T \\ &= (1,106.10^{11}) \times (0,4)^3 \times (77-78) \\ &= -7,08.10^9\end{aligned}$$

Kemudian kita mencari harga k dari persamaan 2-16 maka akan kita dapatkan :

$$\begin{aligned}k &= y = -4E-11T^4 + 3E-08T^3 - 1E-05T^2 + 0,0022T + 0,565 \\ &= (-4E-11 \times (77,5)^4) + (3E-08 \times (77,5)^3) - (1E-05 \times (77,5)^2) + \\ &\quad (0,0022 \times 77,5) + 0,565 \\ &= 0,673 (^\circ C)\end{aligned}$$

Selanjutnya kita masukkan kepersamaan 2-11 , angka Nusselt menjadi

$$\begin{aligned}\overline{Nu}_L &= 0,16 (Gr_L Pr)^{1/3} \text{ untuk } 2 \times 10^8 < Gr_L Pr < 10^{11} \\ \overline{Nu}_L &= 0,16 (-7,08.10^9)^{1/3} \\ &= -307,244\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas selanjutnya kita masukkan ke persamaan 2-12 diatas maka akan didapat:

$$h_i = \frac{k \cdot \overline{Nu_L}}{L} = \frac{0,673 \times -307,244}{0,4}$$

$$= -517 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Sehingga perpindahan kalor konveksinya menjadi :

$$q_i = h_i (T_p - T_w)$$

$$= -517 \times (77 - 78)$$

$$= 517 \text{ W/m}^2 = 0,517 \text{ k W/m}^2$$

Perhitungan data selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel perhitungan berikut :

Tabel 3-13 kaca hitam tanggal 23-11-2002 diluar

No,	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	28	28	28	0.4	0	3E+10	0	0	0.6138	0	0
2	35	35	35	0.4	0	4E+10	0	0	0.624	0	0
3	39	40	40	0.4	-1	4E+10	-3E+09	-223	0.6301	-351.3	-0.3513058
4	48	49	49	0.4	-1	6E+10	-4E+09	-244.3	0.6417	-391.9	-0.3919113
5	53	54	54	0.4	-1	6E+10	-4E+09	-255.63	0.6476	-413.9	-0.413892
6	49	49	49	0.4	0	6E+10	0	0	0.6423	0	0

Tabel 3-14 Kaca bening tanggal 15-11-2002 diluar

No,	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	29	29	29	0.4	0	3E+10	0	0	0.6153	0	0
2	60	62	61	0.4	-2	8E+10	-1E+10	-342.76	0.656	-562.2	-0.2810865
3	65	67	66	0.4	-2	9E+10	-1E+10	-356.14	0.6613	-588.8	-0.2943999
4	67	68	68	0.4	-1	9E+10	-6E+09	-285.81	0.6628	-473.6	-0.4736121
5	63	63	63	0.4	0	8E+10	0	0	0.6582	0	0
6	59	59	59	0.4	0	7E+10	0	0	0.6539	0	0

Tabel 3-15 Kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

No.	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	42	43	43	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-230.25	0.6341	-365	-0.3650032
2	67	68	68	0.4	-1	9E+10	-6E+09	-285.81	0.6628	-473.6	-0.4736121
3	70	70	70	0.4	0	9E+10	0	0	0.6653	0	0
4	77	78	78	0.4	-1	1E+11	-7E+09	-306.24	0.6725	-514.8	-0.514841
5	73	73	73	0.4	0	1E+11	0	0	0.6682	0	0
6	59	57	58	0.4	2	7E+10	9.1E+09	334.583	0.6528	546.01	0.2730032

Tabel 3-16 Kaca bening tanggal 19-11-2002 diluar

No.	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	31	32	32	0.4	-1	3E+10	-2E+09	-202.81	0.619	-313.8	-0.3138377
2	57	57	57	0.4	0	7E+10	0	0	0.6516	0	0
3	63	63	63	0.4	0	8E+10	0	0	0.6582	0	0
4	65	64	65	0.4	1	8E+10	5.3E+09	279.511	0.6598	461.02	0.4610226
5	69	69	69	0.4	0	9E+10	0	0	0.6643	0	0
6	57	57	57	0.4	0	7E+10	0	0	0.6516	0	0

Tabel 3-17 Kaca bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002 diluar

No.	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	28	28	28	0.4	0	3E+10	0	0	0.6138	0	0
2	36	37	37	0.4	-1	4E+10	-2E+09	-215.59	0.6261	-337.4	-0.3374266
3	38	39	39	0.4	-1	4E+10	-3E+09	-220.55	0.6288	-346.7	-0.3467004
4	41	42	42	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-227.85	0.6328	-360.5	-0.3604566
5	42	43	43	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-230.25	0.6341	-365	-0.3650032

Tabel 3-18 Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002 diluar

No.	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	30	31	31	0.4	-1	3E+10	-2E+09	-200.19	0.6175	-309	-0.3090432
2	40	41	41	0.4	-1	4E+10	-3E+09	-225.43	0.6315	-355.9	-0.3558909
3	43	43	43	0.4	0	5E+10	0	0	0.6348	0	0
4	43	43	43	0.4	0	5E+10	0	0	0.6348	0	0
5	48	48	48	0.4	0	5E+10	0	0	0.6411	0	0
6	48	48	48	0.4	0	5E+10	0	0	0.6411	0	0

Tabel 3-19 Kaca Hitam tanggal 6-12-2002 didalam

No.	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	30	30	30	0.4	0	3E+10	0	0	0.6168	0	0
2	44	46	45	0.4	-2	5E+10	-6E+09	-297.56	0.6373	-474.1	-0.2370479
3	49	51	50	0.4	-2	6E+10	-7E+09	-312.13	0.6435	-502.1	-0.2510679
4	52	54	53	0.4	-2	6E+10	-8E+09	-320.66	0.6471	-518.7	-0.2593615
5	54	56	55	0.4	-2	7E+10	-8E+09	-326.28	0.6494	-529.7	-0.2648445
6	57	58	58	0.4	-1	7E+10	-5E+09	-264.47	0.6522	-431.2	-0.4312156
7	58	59	59	0.4	-1	7E+10	-5E+09	-266.65	0.6533	-435.5	-0.4355123
8	59	61	60	0.4	-2	8E+10	-1E+10	-340.05	0.655	-556.8	-0.2784002
9	60	61	61	0.4	-1	8E+10	-5E+09	-270.98	0.6555	-444.1	-0.4440665

Tabel 3-20 Kaca bening tanggal 27-11-2002 didalam

No,	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	28	28	28	0.4	0	3E+10	0	0	0.6138	0	0
2	38	41	40	0.4	-3	4E+10	-8E+09	-321.62	0.6301	-506.7	-0.1688902
3	44	46	45	0.4	-2	5E+10	-6E+09	-297.56	0.6373	-474.1	-0.2370479
4	50	52	51	0.4	-2	6E+10	-8E+09	-314.99	0.6447	-507.7	-0.2538419
5	51	53	52	0.4	-2	6E+10	-8E+09	-317.83	0.6459	-513.2	-0.2566064
6	55	56	56	0.4	-1	7E+10	-4E+09	-260.07	0.6499	-422.6	-0.4225816
7	56	58	57	0.4	-2	7E+10	-9E+09	-331.83	0.6516	-540.6	-0.2702922

Tabel 3-21 Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 29 -11-2002

No,	Tp (C)	Tw (C)	Tf	L(m)	Delta T	(gBp2cp/uk)	GrLPr	NuL	k	h	qi
1	33	32	33	0.4	1	3E+10	2.1E+09	205.412	0.6204	318.61	0.3186052
2	35	36	36	0.4	-1	4E+10	-2E+09	-213.07	0.6247	-332.8	-0.3327567
3	37	38	38	0.4	-1	4E+10	-3E+09	-218.08	0.6274	-342.1	-0.3420743
4	40	41	41	0.4	-1	4E+10	-3E+09	-225.43	0.6315	-355.9	-0.3558909
5	42	43	43	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-230.25	0.6341	-365	-0.3650032
6	43	44	44	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-232.63	0.6354	-369.5	-0.3695313
7	45	46	46	0.4	-1	5E+10	-3E+09	-237.34	0.638	-378.5	-0.3785342
8	46	48	47	0.4	-2	5E+10	-7E+09	-303.44	0.6398	-485.4	-0.2426868
9	47	49	48	0.4	-2	5E+10	-7E+09	-306.35	0.6411	-491	-0.2454906

b. Koefisien konveksi dalam (hi1) dan koefisien radiasi (hri) antara air dan kaca.

Dengan  $T_w = 78 \text{ }^\circ\text{C} = 351 \text{ K}$  ;  $T_c = 70 \text{ }^\circ\text{C} = 343 \text{ K}$ ;  $T_m = (351+343)/2 = 347 \text{ K}$ ;  $z = 20 \text{ cm}$ .

Untuk menghitung ini kita menggunakan gambar 2-6 dan dengan menggunakan persamaan 2-7 sampai 2-9.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{137}{(T_m + 200)^{1/3} \times T_m^{1/2}} \\ &= \frac{137}{(347 + 200)^{1/3} \times \sqrt{347}} \\ &= 0,899 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_2 &= \frac{T_w - T_c}{50} \\ &= \frac{351 - 343}{50} = 0,16 \\ \phi_3 &= \frac{1428(T_m + 200)^{\frac{2}{3}}}{T_m^2} \\ &= \frac{1428(347 + 200)^{\frac{2}{3}}}{347^2} = 0,793\end{aligned}$$

$$z\Phi_2\Phi_3 = 20 \times 0,16 \times 0,793 = 2,5376$$

Dari Gambar 2-9 dan persamaan 2-17, yaitu :

$$h/\Phi_1\Phi_2 = y = 4,536x - 0,1869$$

Sehingga untuk

$$z\Phi_2\Phi_3 = x = 2,5376$$

maka perpindahan kalor konveksinya adalah

$$\begin{aligned}h_i/\Phi_1\Phi_2 &= y = (4,536 \times 2,5376) - 0,1869 \\ &= 4,3271\end{aligned}$$

$$h_i = 4,3271 \times 0,899 \times 0,793 = 0,6226 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- Perpindahan kalor radiasi

$$h_{ri} = \frac{\sigma(T_w^4 - T_c^4)}{\left[ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right] (T_w - T_c)} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3-21)$$

maka perpindahan kalor radiasinya adalah

$$\begin{aligned}h_{ri} &= \frac{5,67 \cdot 10^{-8} (351^4 - 343^4)}{\left[ \frac{1}{0,6658} + \frac{1}{0,9734} - 1 \right] (351^4 - 343^4)} \\ &= 8,8657 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})\end{aligned}$$

Perhitungan data selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel perhitungan berikut :

Tabel 3-22 Kaca Hitam tanggal 23-11-2002. diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$z\Phi 2\Phi 3$	$hi/\Phi 1\Phi 2$	$\phi 1\phi 2$	hi1
28	30	301	303	302	20	0,992	-0,04	0,989	-0,7912	4,939	-0,0397	-0,196
35	43	308	316	312	20	0,97	-0,16	0,939	-3,0043	5,3368	-0,1551	-0,8279
40	45	313	318	316	20	0,962	-0,1	0,922	-1,8446	5,1245	-0,0962	-0,4929
49	50	322	323	323	20	0,947	-0,02	0,891	-0,3563	4,8644	-0,0189	-0,0921
54	49	327	322	325	20	0,943	0,1	0,882	1,76398	4,5165	0,0943	0,42592
49	45	322	318	320	20	0,952	0,08	0,902	1,44284	4,5675	0,07619	0,348

Tabel 3-23 Kaca bening tanggal 15-11-2002 diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$z\Phi 2\Phi 3$	$hi/\Phi 1\Phi 2$	$\phi 1\phi 2$	hi1
29	30	302	303	303	20	0,991	-0,02	0,986	-0,3945	4,8709	-0,0198	-0,0965
62	57	335	330	333	20	0,927	0,1	0,849	1,69715	4,527	0,09269	0,41963
67	61	340	334	337	20	0,918	0,12	0,831	1,99371	4,4803	0,11018	0,49363
68	63	341	336	339	20	0,915	0,1	0,825	1,6498	4,5346	0,09153	0,41503
63	55	336	328	332	20	0,928	0,16	0,851	2,72193	4,3676	0,14847	0,64844
59	49	332	322	327	20	0,938	0,2	0,871	3,48524	4,2524	0,18759	0,7977

Tabel 3-24 Kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$z\Phi 2\Phi 3$	$hi/\Phi 1\Phi 2$	$\phi 1\phi 2$	hi1
43	41	316	314	315	20	0,963	0,04	0,925	0,73972	4,6813	0,03852	0,18033
68	64	341	337	339	20	0,914	0,08	0,823	1,31676	4,5877	0,07314	0,33557
70	66	343	339	341	20	0,91	0,08	0,815	1,30458	4,5897	0,07284	0,33431
78	70	351	343	347	20	0,899	0,16	0,793	2,53831	4,3957	0,14388	0,63247
73	67	346	340	343	20	0,907	0,12	0,808	1,93888	4,4889	0,10881	0,48842
57	50	330	323	327	20	0,939	0,14	0,873	2,4456	4,41	0,13145	0,57971

Tabel 3-25 Kaca bening Dengan Pendingin Air tanggal 26-11-2002. diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$z\Phi 2\Phi 3$	$hi/\Phi 1\Phi 2$	$\phi 1\phi 2$	hi1
29	29	302	302	302	20	0,992	0	0,989	0	4,8041	0	0
42	35	315	308	312	20	0,971	0,14	0,941	2,63553	4,3808	0,13588	0,59528
50	45	323	318	321	20	0,951	0,1	0,9	1,79908	4,5109	0,09513	0,42914
56	46	329	319	324	20	0,944	0,2	0,884	3,5366	4,2448	0,18881	0,80147
50	43	323	316	320	20	0,953	0,14	0,904	2,53125	4,3968	0,13348	0,58689
48	42	321	315	318	20	0,957	0,12	0,911	2,18594	4,4503	0,11479	0,51085



Tabel 3-26 Kaca bening Dengan Pendingin Air tanggal 27-11-2002 diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$z\phi_2\phi_3$	$hi/\phi_1\phi_2$	$\phi_1\phi_2$	hi1
28	30	301	303	302	20	0,992	0,04	0,989	-0,7912	4,939	-0,0397	-0,196
37	34	310	307	309	20	0,977	0,06	0,956	1,14708	4,615	0,05863	0,2706
39	34	312	307	310	20	0,975	0,1	0,951	1,90195	4,4947	0,0975	0,43824
42	37	315	310	313	20	0,968	0,1	0,936	1,87293	4,4993	0,09684	0,43572
43	37	316	310	313	20	0,967	0,12	0,934	2,24179	4,4416	0,11608	0,51558

Tabel 3-27 Kaca bening Dengan Pendingin Air tanggal 25-11-2002, diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$z\phi_2\phi_3$	$hi/\phi_1\phi_2$	$\phi_1\phi_2$	hi1
31	32	304	305	305	20	0,986	0,02	0,976	-0,3904	4,8702	-0,0197	-0,0961
41	37	314	310	312	20	0,97	0,08	0,939	1,50217	4,558	0,07756	0,35353
43	38	316	311	314	20	0,966	0,1	0,932	1,86342	4,5008	0,09662	0,43489
43	37	316	310	313	20	0,967	0,12	0,934	2,24179	4,4416	0,11608	0,51558
48	42	321	315	318	20	0,957	0,12	0,911	2,18594	4,4503	0,11479	0,51085
48	40	321	313	317	20	0,959	0,16	0,915	2,92923	4,336	0,1534	0,66512

Tabel 3-28 Kaca Hitam tanggal 23-11-2002 , didalam

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$z\phi_2\phi_3$	$hi/\phi_1\phi_2$	$\phi_1\phi_2$	hi1
31	30	304	303	304	20	0,988	0,02	0,981	0,39247	4,7386	0,01977	0,09368
46	53	319	326	323	20	0,947	-0,14	0,891	-2,4939	5,2423	-0,1326	-0,6951
51	57	324	330	327	20	0,938	-0,12	0,871	-2,0911	5,1689	-0,1126	-0,5818
54	58	327	331	329	20	0,934	-0,08	0,863	-1,3807	5,042	-0,0747	-0,3767
56	59	329	332	331	20	0,931	-0,06	0,857	-1,0281	4,9801	-0,0559	-0,2782
58	60	331	333	332	20	0,928	-0,04	0,851	-0,6805	4,9199	-0,0371	-0,1826
59	61	332	334	333	20	0,926	-0,04	0,847	-0,6772	4,9193	-0,037	-0,1822
61	61	334	334	334	20	0,924	0	0,843	0	4,8041	0	0
61	62	334	335	335	20	0,923	-0,02	0,841	-0,3362	4,861	-0,0185	-0,0897

Tabel 3-29 kaca bening tanggal 25-11-2002 didalam

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$z\phi_2\phi_3$	$hi/\phi_1\phi_2$	$\phi_1\phi_2$	hi1
28	28	301	301	301	13	0,994	0	0,994	0	4,8041	0	0
41	49	314	322	318	13	0,957	-0,16	0,911	-1,8945	5,1334	-0,1531	-0,7857
46	49	319	322	321	13	0,951	-0,06	0,9	-0,7016	4,9235	-0,0571	-0,281
52	53	325	326	326	13	0,941	-0,02	0,878	-0,2282	4,8426	-0,0188	-0,0911
53	51	326	324	325	13	0,942	0,04	0,88	0,45751	4,7278	0,03768	0,17815
56	55	329	328	329	13	0,935	0,02	0,865	0,2249	4,7664	0,0187	0,08912
58	57	331	330	331	13	0,931	0,02	0,857	0,22275	4,7668	0,01862	0,08875

Tabel 3-30 kaca bening tanggal 25-11-2002.didalam

Tw	Tc	Tw	Tc	Tm	z (cm)	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$z\Phi 2\Phi 3$	$hi/\Phi 1\Phi 2$	$\phi 1\phi 2$	hi1
32	33	305	306	306	13	0,984	-0,02	0,971	-0,2524	4,8467	-0,0197	-0,0954
36	43	309	316	313	13	0,968	-0,14	0,936	-1,7044	5,0994	-0,1356	-0,6914
38	47	311	320	316	13	0,962	-0,18	0,922	-2,1582	5,1811	-0,1731	-0,8971
41	50	314	323	319	13	0,956	-0,18	0,909	-2,126	5,1752	-0,172	-0,8901
43	53	316	326	321	13	0,95	-0,2	0,897	-2,333	5,2128	-0,1901	-0,9907
44	54	317	327	322	13	0,948	-0,2	0,893	-2,3215	5,2107	-0,1896	-0,9882
46	56	319	329	324	13	0,944	-0,2	0,884	-2,2988	5,2066	-0,1888	-0,9831
48	57	321	330	326	13	0,941	-0,18	0,878	-2,0538	5,1621	-0,1694	-0,8744
49	58	322	331	327	13	0,939	-0,18	0,873	-2,0438	5,1603	-0,169	-0,8722

Tabel 3-31 Kaca Hitam tanggal 23-11-2002.diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	$\epsilon a$	$\epsilon c$	hri
28	30	301	303	0,96	0,9689	5,8178
35	43	308	316	0,96	0,9689	6,4161
40	45	313	318	0,96	0,9689	6,6338
49	50	322	323	0,96	0,9689	7,0847
54	49	327	322	0,96	0,9689	7,2178
49	45	322	318	0,96	0,9689	6,9215

Tabel 3-32 Kaca bening tanggal 15-11-2002diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	$\epsilon a$	$\epsilon c$	hri
29	30	302	303	0,96	0,9734	5,8728
62	57	335	330	0,96	0,9734	7,7995
67	61	340	334	0,96	0,9734	8,1207
68	63	341	336	0,96	0,9734	8,2294
63	55	336	328	0,96	0,9734	7,7651
59	49	332	322	0,96	0,9734	7,4202

Tabel 3-33 Kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

Tw	Tc	Tw	Tc	$\epsilon a$	$\epsilon c$	hri
43	41	316	314	0,96	0,9734	6,6314
68	64	341	337	0,96	0,9734	8,2657
70	66	343	339	0,96	0,9734	8,4129
78	70	351	343	0,96	0,9734	8,8657
73	67	346	340	0,96	0,9734	8,5622
57	50	330	323	0,96	0,9734	7,3853

Tabel 3-34 Kaca bening dengan Pendingin Air Tanggal 26-11-2002, diluar

T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
29	29	302	302	0,96	0,9734	0
42	35	315	308	0,96	0,9734	6,4135
50	45	323	318	0,96	0,9734	6,9852
56	46	329	319	0,96	0,9734	7,2178
50	43	323	316	0,96	0,9734	6,9204
48	42	321	315	0,96	0,9734	6,8232

Tabel 3-35 Kaca bening dengan Pendingin Air tanggal 27-11-2002, diluar

T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
28	30	301	303	0,96	0,9734	5,8438
37	34	310	307	0,96	0,9734	6,2294
39	34	312	307	0,96	0,9734	6,2904
42	37	315	310	0,96	0,9734	6,4751
43	37	316	310	0,96	0,9734	6,5064

Tabel 3-36 Kaca bening Dengan Pendingin Air tanggal 25-11-2002, diluar

T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
31	32	304	305	0,96	0,9734	5,9901
41	37	314	310	0,96	0,9734	6,4439
43	38	316	311	0,96	0,9734	6,5374
43	37	316	310	0,96	0,9734	6,5064
48	42	321	315	0,96	0,9734	6,8232
48	40	321	313	0,96	0,9734	6,7595

Tabel 3-37 Kaca bening tanggal 19-11-2002, diluar

T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
32	30	305	303	0,96	0,9734	5,9606
57	55	330	328	0,96	0,9734	7,5554
63	58	336	331	0,96	0,9734	7,8701
64	60	337	333	0,96	0,9734	7,9766
69	62	342	335	0,96	0,9734	8,2298
57	50	330	323	0,96	0,9734	7,3853

Tabel 3-38 Kaca Hitam tanggal 23-11-2002, didalam

T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>c</sub>	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
31	30	304	303	0,96	0,9689	5,9049
46	53	319	326	0,96	0,9689	7,0856
51	57	324	330	0,96	0,9689	7,3861
54	58	327	331	0,96	0,9689	7,5221
56	59	329	332	0,96	0,9689	7,6253
58	60	331	333	0,96	0,9689	7,7295
59	61	332	334	0,96	0,9689	7,7996
61	61	334	334	0,96	0,9689	0
61	62	334	335	0,96	0,9689	7,9054

Tabel 3-38 Kaca bening tanggal 25-11-2002, didalam

Ta	Tc	Ta	Tc	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
28	28	301	301	0,96	0,9734	0
41	49	314	322	0,96	0,9734	6,8237
46	49	319	322	0,96	0,9734	6,9849
52	53	325	326	0,96	0,9734	7,3168
53	51	326	324	0,96	0,9734	7,2832
56	55	329	328	0,96	0,9734	7,521
58	57	331	330	0,96	0,9734	7,6592

Tabel 3-39 Kaca bening dengan Pendingin Air tanggal 26-11-2002, didalam

Ta	Tc	Ta	Tc	$\epsilon_a$	$\epsilon_c$	hri
32	33	305	306	0,96	0,9734	6,0493
36	43	309	316	0,96	0,9734	6,4755
38	47	311	320	0,96	0,9734	6,6643
41	50	314	323	0,96	0,9734	6,8562
43	53	316	326	0,96	0,9734	7,0192
44	54	317	327	0,96	0,9734	7,085
46	56	319	329	0,96	0,9734	7,2178
48	57	321	330	0,96	0,9734	7,3182
49	58	322	331	0,96	0,9734	7,3858

c. Koefisien konveksi luar ( $h_o$ ) dan koefisien radiasi ( $h_{ro}$ ) antara kaca dan lingkungan.

- Koefisien konveksi luar,

$$h_o = 5,7 + 3,8V \quad (3-21)$$

di mana V adalah kecepatan angin dalam m/s

sehingga

$$\begin{aligned} h_o &= 5,7 + (3,8 \times 5) \\ &= 24,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

a. Temperatur langit efektif

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

Sehingga

$$\begin{aligned} T_{\text{langit}} &= 0.0552 (305)^{3/2} \\ &= 285 \quad (\text{K}) \end{aligned}$$

b. Koefisien radiasi luar ekuivalen dari persamaan 2-19 adalah

$$h_{ro} = \frac{\epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_{\text{langit}}^4)}{T_c^4 - T_{\text{langit}}^4} \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)}$$

sehingga

$$\begin{aligned} h_{ro} &= \frac{(0,9734 \times 5,67 \times 10^{-8})(343^4 - 285^4)}{(343^4 - 285^4)} \\ &= 7,534603 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

Untuk Perhitungan selanjutnya dapat dilihat dalam tabel perhitungan berikut :

Tabel 3-40 kaca hitam tanggal 23 -11-2002 diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
30	27	303	300	0,9689	6,022748
43	31	316	304	0,9689	6,548921
45	29	318	302	0,9689	6,550828
50	31	323	304	0,9689	6,776934
49	30	322	303	0,9689	6,712329
45	29	318	302	0,9689	6,550828

Tabel 3-41 kaca bening tanggal 11-2002. diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
30	28	303	301	0,9734	6,08079
57	35	330	308	0,9734	7,17501
61	34	334	307	0,9734	7,280955
63	31	336	304	0,9734	7,252182
55	30	328	303	0,9734	6,944063
49	30	322	303	0,9734	6,743504

Tabel 3-42 kaca bening tanggal 16-11-2002 .diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
41	26	314	299	0,9734	6,36042
64	28	337	301	0,9734	7,189307
66	31	339	304	0,9734	7,358041
70	32	343	305	0,9734	7,534603
67	32	340	305	0,9734	7,426778
50	31	323	304	0,9734	6,808409

Tabel 3-43 kaca bening dengan pendingin air 26-11-2002 diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
29	26	302	299	0,9734	5,990715
35	27	308	300	0,9734	6,203408
45	28	318	301	0,9734	6,550038
46	29	319	302	0,9734	6,613701
43	28	316	301	0,9734	6,485695
42	27	315	300	0,9734	6,422854

Tabel 3-44 kaca bening dengan pendingin air tanggal 27-11-2002 .diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
30	28	303	301	0,9734	6,08079
34	28	307	301	0,9734	6,202938
34	28	307	301	0,9734	6,202938
37	28	310	301	0,9734	6,295964
37	28	310	301	0,9734	6,295964

Tabel 3-45 kaca bening dengan pendingin air tanggal 25-11-2002 diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
32	26	305	299	0,9734	6,081323
37	27	310	300	0,9734	6,265426
38	27	311	300	0,9734	6,296639
30	27	303	300	0,9734	6,05072
30	28	303	301	0,9734	6,08079
33	30	306	303	0,9734	6,233139

Tabel 3-46 Kaca bening tanggal 19-11-2002 .diluar

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
30	28	303	301	0,9734	6,08079
55	29	328	302	0,9734	6,912022
58	29	331	302	0,9734	7,014006
60	31	333	304	0,9734	7,147627
62	32	335	305	0,9734	7,249992
50	33	323	306	0,9734	6,87248

Tabel 3-47 kaca hitam tanggal 5-12-2002 .didalam

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
30	29	303	302	0,9689	6,082741
53	30	326	303	0,9689	6,844855
57	30	330	303	0,9689	6,979633
58	30	331	303	0,9689	7,013682
59	30	332	303	0,9689	7,047873
60	30	333	303	0,9689	7,082207
61	30	334	303	0,9689	7,116684
61	30	334	303	0,9689	7,116684
62	30	335	303	0,9689	7,151304

Tabel 3-48 kaca bening tanggal 6-12-2002 didalam

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
28	29	301	302	0,9734	6,050587
49	30	322	303	0,9734	6,743504
49	31	322	304	0,9734	6,775266
53	31	326	304	0,9734	6,908684
51	31	324	304	0,9734	6,841693
55	29	328	302	0,9734	6,912022
57	29	330	302	0,9734	6,979869

Tabel 3-49 kaca bening tanggal 7-12-2002 didalam

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
28	29	301	302	0,9734	6,050587
59	29	332	302	0,9734	7,048286
65	30	338	303	0,9734	7,289729
68	31	341	304	0,9734	7,429341
71	31	344	304	0,9734	7,537392
73	31	346	304	0,9734	7,610163
74	31	347	304	0,9734	7,64677
75	31	348	304	0,9734	7,683526

Tabel 3-50 kaca bening dengan pendingin air tanggal 8-12-2002 didalam

Tc	Tu	Tc	Tu	ec	hro
43	30	316	303	0,9734	6,547988
47	30	320	303	0,9734	6,677775
50	30	323	303	0,9734	6,776579
53	30	326	303	0,9734	6,876645
54	30	327	303	0,9734	6,910284
56	30	329	303	0,9734	6,977985
57	30	330	303	0,9734	7,012049
58	30	331	303	0,9734	7,046256

c. Tahanan termal kaca dan koefisien kerugian total

Dari hasil pengambilan data yang telah dilakukan maka akan dapat dihitung harga koefisien kerugian total dengan menggunakan persamaan 2-6 dan 2-21

- Koefisien kerugian atas :

Adalah kerugian kalor yang disebabkan oleh sifat sifat fisis bahan (kaca penutup) yang dilalui kalor.

Tahanan termal kaca dari persamaan 2-21

$$R = \frac{t}{K}$$



Dengan :

$t$  = tebal kaca 0.005 m

$K$  = Konduktifitas kaca .0.78 W/m.<sup>o</sup>c

Sehingga didapatkan hasil :

$$R = \frac{0,005}{0,78} = 0,0064 \text{ m}^2 \cdot ^\circ \text{C} / \text{W}$$

Kemudian masukkan ke persamaan 2-6

$$\frac{1}{U_t} = \frac{t}{K}(\text{kaca}) + \frac{1}{h_o + h_{ro}}$$

$$\frac{1}{U_t} = 0.0064 + \frac{1}{24.7 + 7.176}$$

$$= 0.03742 \text{ m}^2 \cdot ^\circ \text{C} / \text{W}$$

Koefisien kerugian atas adalah :

$$U_t = 26.4836 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

$$q_t = U_t (T_c - T_a)$$

$$= 26.4836 \times (70 - 32)$$

$$= 1006.3768 \text{ W} / \text{m}^2 = 0.10063768 \text{ kW} / \text{m}^2$$

- Koefisien kerugian bawah

Adalah kerugian kalor yang disebabkan oleh isolasi(gabus dan papan kayu).

- Tahanan termal gabus

Persamaan (2-21) tahanan termal gabus dan kayu.

$$R_{\text{gabus}} = \frac{t}{K}$$

Dengan ,

$t$  = tebal gabus 0.01 m

$K$  = Konduktivitas gabus 0.043 W /m. °C

Sehingga tahanan termal gabus adalah

$$R_{\text{gabus}} = \frac{0.01}{0.043}$$

$$= 0.2326 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

- Tahanan termal papan kayu

$$R_{\text{papan}} = \frac{t}{K}$$

Dengan,

$t$  = tebal papan kayu 0.008 m

$K$  = konduktivitas papan kayu 0.059 W/m. °C

Sehingga tahanan termal papan kayu adalah

$$R_{\text{papan}} = \frac{0.008}{0.059}$$

$$= 0.136 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

Sehingga tahanan termal dari isolasi keseluruhan adalah

$$\frac{1}{R_{\text{papan}}} = \frac{1}{R_{\text{gabus}}} + \frac{1}{R_{\text{papan}}}$$

$$\frac{1}{R_{\text{papan}}} = \frac{1}{0.2326} + \frac{1}{0.136}$$

$$= 4.299 + 7.3529 = 11.652 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

koefisien kerugian bawah adalah

$$U_b = \frac{1}{R_{total}}$$

$$= 11.652 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Sehingga kerugian kalor bagian bawah adalah:

$$q_b = U_b (T_p - T_a)$$

$$= 11.652 (77 - 32)$$

$$= 524.34 \text{ W/m}^2 = 0.52434 \text{ k W/m}^2$$

Perhitungan data selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini:

a. Tabel perpindahan kalor bagian atas

Tabel 3-51 kaca hitam tanggal 23-11-2002 diluar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m2)	qt(kW/m2.C)
30	27	303	300	0.9689	6.02275	24.7	0.0064	0.212923	4.696534	0.0140896
43	31	316	304	0.9689	6.54892	24.7	0.0064	0.199583	5.010453	0.0601254
45	29	318	302	0.9689	6.55083	24.7	0.0064	0.199538	5.01157	0.0801851
50	31	323	304	0.9689	6.77693	24.7	0.0064	0.194445	5.142838	0.0977139
49	30	322	303	0.9689	6.71233	24.7	0.0064	0.195865	5.105547	0.0970054
45	29	318	302	0.9689	6.55083	24.7	0.0064	0.199538	5.01157	0.0801851

Tabel 3-52 Kaca bening tanggal 15-11-2002 diluar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m2)	qt(kW/m2.C)
30	28	303	301	0.9734	6.08079	24.7	0.0064	0.211338	4.731753	0.0094635
57	35	330	308	0.9734	7.17501	24.7	0.0064	0.186258	5.368884	0.1181154
61	34	334	307	0.9734	7.28096	24.7	0.0064	0.18423	5.427984	0.1465556
63	31	336	304	0.9734	7.25218	24.7	0.0064	0.184775	5.411977	0.1731833
55	30	328	303	0.9734	6.94406	24.7	0.0064	0.190894	5.238517	0.1309629
49	30	322	303	0.9734	6.7435	24.7	0.0064	0.195177	5.123563	0.0973477

Tabel 3-53 Kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m <sup>2</sup> )	qt(kW/m <sup>2</sup> .C)
41	26	314	299	0.9734	6.36042	24.7	0.0064	0.204108	4.899363	0.0734905
64	28	337	301	0.9734	7.18931	24.7	0.0064	0.185981	5.376885	0.1935678
66	31	339	304	0.9734	7.35804	24.7	0.0064	0.182792	5.470712	0.1914749
70	32	343	305	0.9734	7.5346	24.7	0.0064	0.179607	5.567717	0.2115732
67	32	340	305	0.9734	7.42678	24.7	0.0064	0.181534	5.508619	0.1928017
50	31	323	304	0.9734	6.80841	24.7	0.0064	0.193763	5.160944	0.0980579

Tabel 3-54 Kaca bening tanggal 19-11-2002 diluar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m <sup>2</sup> )	qt(kW/m <sup>2</sup> .C)
30	28	303	301	0.9734	6.08079	24.7	0.0064	0.211338	4.731753	0.0094635
55	29	328	302	0.9734	6.91202	24.7	0.0064	0.191561	5.220261	0.1357268
58	29	331	302	0.9734	7.01401	24.7	0.0064	0.189458	5.278223	0.1530685
60	31	333	304	0.9734	7.14763	24.7	0.0064	0.186792	5.353537	0.1552526
62	32	335	305	0.9734	7.24999	24.7	0.0064	0.184817	5.410757	0.1623227
50	33	323	306	0.9734	6.87248	24.7	0.0064	0.192394	5.197675	0.0883605

Tabel 3-55 Kaca bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002 diluar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m <sup>2</sup> )	qt(kW/m <sup>2</sup> .C)
30	27	303	300	0.9734	6.05072	24.7	0.0064	0.212155	4.713526	0.0141406
34	26	307	299	0.9734	6.1424	24.7	0.0064	0.209689	4.768974	0.0381518
34	28	307	301	0.9734	6.20294	24.7	0.0064	0.2081	4.805388	0.0288323
37	28	310	301	0.9734	6.29596	24.7	0.0064	0.205718	4.86103	0.0437493
37	28	310	301	0.9734	6.29596	24.7	0.0064	0.205718	4.86103	0.0437493

Tabel 3-56 Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002 dituar

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m <sup>2</sup> )	qt(kW/m <sup>2</sup> .C)
32	26	305	299	0.9734	6.08132	24.7	0.0064	0.211324	4.732076	0.0283925
37	27	310	300	0.9734	6.26543	24.7	0.0064	0.206492	4.842805	0.0484281
38	27	311	300	0.9734	6.29664	24.7	0.0064	0.205701	4.861432	0.0534757
37	27	310	300	0.9734	6.26543	24.7	0.0064	0.206492	4.842805	0.0484281
42	28	315	301	0.9734	6.45373	24.7	0.0064	0.201835	4.954543	0.0693636
40	30	313	303	0.9734	6.4521	24.7	0.0064	0.201874	4.953581	0.0495358

Tabel 3-57 Kaca Hitam tanggal 6-12-2002 didalam

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/Ut	Ut(W/m <sup>2</sup> )	qt(kW/m <sup>2</sup> .C)
30	29	303	302	0.9689	6.08274	24.7	0.0064	0.211285	4.732935	0.0047329
53	30	326	303	0.9689	6.84485	24.7	0.0064	0.192981	5.181858	0.1191827
57	30	330	303	0.9689	6.97963	24.7	0.0064	0.19016	5.258734	0.1419858
58	30	331	303	0.9689	7.01368	24.7	0.0064	0.189464	5.278039	0.1477851
59	30	332	303	0.9689	7.04787	24.7	0.0064	0.188773	5.297379	0.153624
60	30	333	303	0.9689	7.08221	24.7	0.0064	0.188085	5.316752	0.1595026
61	30	334	303	0.9689	7.11668	24.7	0.0064	0.187401	5.336159	0.1654209
61	30	334	303	0.9689	7.11668	24.7	0.0064	0.187401	5.336159	0.1654209
62	30	335	303	0.9689	7.1513	24.7	0.0064	0.18672	5.355599	0.1713792

Tabel 3-58 Kaca bening tanggal 27-11-2002 didalam

Tc	Ta	Tc	Ta	ec	hro	ho	R	1/U1	Ut(W/m2)	qt(kW/m2.C)
28	29	301	302	0.9734	6.05059	24.7	0.0064	0.212159	4.713445	-0.004713
49	30	322	303	0.9734	6.7435	24.7	0.0064	0.195177	5.123563	0.0973477
49	31	322	304	0.9734	6.77527	24.7	0.0064	0.194482	5.141877	0.0925538
53	31	326	304	0.9734	6.90868	24.7	0.0064	0.191631	5.218357	0.1148039
51	31	324	304	0.9734	6.84169	24.7	0.0064	0.193048	5.180046	0.1036009
55	29	328	302	0.9734	6.91202	24.7	0.0064	0.191561	5.220261	0.1357268
57	29	330	302	0.9734	6.97987	24.7	0.0064	0.190155	5.258868	0.1472483

## b. Tabel perpindahan kalor bawah

Tabel 3-59 kaca hitam tanggal 23-11-2002 diluar

Tp	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
28	27	11.652	0.011652
35	31	11.652	0.046608
39	29	11.652	0.11652
48	31	11.652	0.198084
53	30	11.652	0.267996
49	29	11.652	0.23304

Tabel 3-60 Kaca bening tanggal 15-11-2002 diluar

Tp	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
29	28	11.652	0.011652
60	35	11.652	0.2913
65	34	11.652	0.361212
67	31	11.652	0.419472
63	30	11.652	0.384516
59	30	11.652	0.337908

Tabel 3-60 Kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

Tp	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
42	26	11.652	0.186432
67	28	11.652	0.454428
70	31	11.652	0.454428
77	32	11.652	0.52434
73	32	11.652	0.477732
59	31	11.652	0.326256

Tabel 3-61 Kaca bening tanggal 19-11-2002 diluar

Tp (C)	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
31	28	11.652	0.034956
57	29	11.652	0.326256
63	29	11.652	0.396168
65	31	11.652	0.396168
69	32	11.652	0.431124
57	33	11.652	0.279648

Tabel 3-62 Kaca bening Dengan Pendingin Air Tanggal 27-11-2002 diluar

Tp (C)	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
28	28	11.652	0
36	28	11.652	0.093216
38	28	11.652	0.11652
41	28	11.652	0.151476
42	27	11.652	0.17478

Tabel 3-63 Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 25-11-2002 diluar

Tp (C)	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
30	26	11.652	0.046608
40	27	11.652	0.151476
43	27	11.652	0.186432
43	27	11.652	0.186432
48	28	11.652	0.23304
48	30	11.652	0.209736

Tabel 3-64 Kaca Hitam tanggal 6-12-2002 didalam

Tp (C)	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
30	29	11.652	0.011652
44	30	11.652	0.163128
45	30	11.652	0.17478
52	30	11.652	0.256344
54	30	11.652	0.279648
57	30	11.652	0.314604
58	30	11.652	0.326256
59	30	11.652	0.337908
60	30	11.652	0.34956

Tabel 3-65 Kaca bening tanggal 27-11-2002 didalam

Tp	Ta	Ub(W/m2)	qb(kW/m2)
28	29	11.652	-0.011652
38	30	11.652	0.093216
44	31	11.652	0.151476
50	31	11.652	0.221388
51	31	11.652	0.23304
55	29	11.652	0.302952
56	29	11.652	0.314604

Tabel 3-66 Kaca Bening Dengan Pendingin Air Tanggal 29 -11-2002			
Tp	Ta	Ub(W/m <sup>2</sup> )	qb(kW/m <sup>2</sup> )
33	30	11.652	0.034956
35	30	11.652	0.05826
37	30	11.652	0.081564
40	30	11.652	0.11652
42	30	11.652	0.139824
43	30	11.652	0.151476
45	30	11.652	0.17478
46	30	11.652	0.186432
47	30	11.652	0.198084

### III.3 Laju Distilasi

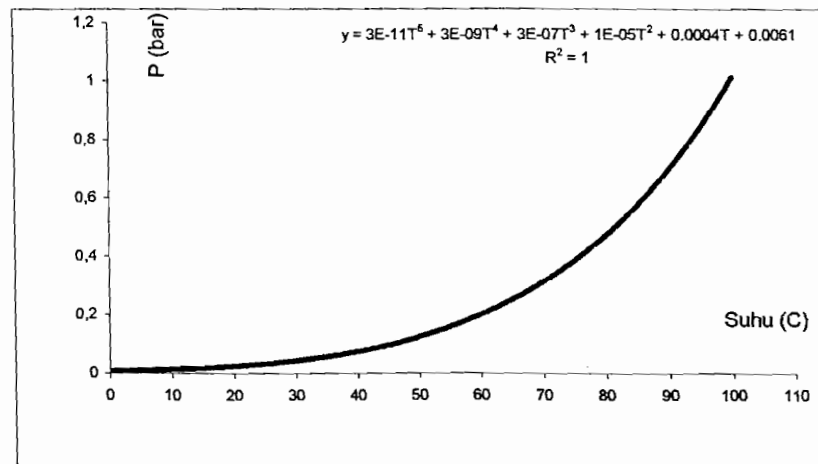
Dari data-data yang sudah diperoleh maka kita dapat mengetahui hasil dari perhitungannya.

Kita ambil satu dari beberapa data yang sudah dilakukan, yaitu pengambilan data destilasi pada saat kaca terang pada tanggal 16 November 2002. Suhu air ( $T_w$ ) adalah 78°C sedangkan suhu tutup kaca ( $T_c$ ) adalah 70°C.

Kemudian kita lihat tabel A-8.

Pada saat suhu air 78°C dan kita peroleh : -  $p_w = 0,438166 \text{ bar} = 43816,6 \text{ N/m}^2$ .

Pada saat suhu kaca 70°C kita gunakan persamaan dari Gambar 3.1



Gambar 3.1 Hubungan antara Suhu (T) dan Tekanan (P)

Dari gambar diatas kita memperoleh persamaan :

$$P = Y = (3 \cdot 10^{-11} \times T^5) + (3 \cdot 10^{-9} \times T^4) - (3 \cdot 10^{-7} \times T^3) + (1 \cdot 10^{-5} \times T^2) + (0,0004 \times T) + 0,0061 \quad (3-1)$$

Maka dari persamaan diatas (3-1), kita dapat menghitung harga  $P_c$  untuk  $T = 70^\circ\text{C}$ , yaitu:

$$\begin{aligned} P_c &= (3 \cdot 10^{-11} \times 70^5) + (3 \cdot 10^{-9} \times 70^4) - (3 \cdot 10^{-7} \times 70^3) + (1 \cdot 10^{-5} \times 70^2) + \\ &\quad (0,0004 \times 70) + 0,0061 \\ &= 0,308451 \text{ bar} = 30845,1 \text{ N/m}^2. \end{aligned}$$

Dari persamaan perpindahan kalor konvektif (2-21), maka akan kita dapatkan:

$$\begin{aligned} q_{\text{konv}} &= 8,84 \times 10^{-4} \\ &\times \left[ 351 - 343 + \frac{43816,6 - 30845,1}{268,9 \times 10^3 - 43816,6} \times 351 \right]^{1/3} \times (351 - 343) \text{ kW/m}^2 \\ &= 0,0215 \text{ kW/m}^2. \end{aligned}$$



Dari persamaan penguapan (2-22), kita dapat menghitung panas yang dipindahkan ke tutup oleh penguapan adalah

$$\begin{aligned} q_{\text{uap}} &= 16,27 \times 10^{-3} \times 0,0215 \times \left[ \frac{43816,6 - 30845,1}{351 - 343} \right] \text{ kW/m}^2 \\ &= 0,5681 \text{ kW/m}^2. \end{aligned}$$

Misalkan  $\varepsilon_w = 0,96$  (lihat lamp. A-10), maka perpindahan panas radiasi dari air ke tutup adalah :

$$\begin{aligned} q_{\text{rad}} &= 5,67 \times 10^{-11} \times 0,96 \times (351 - 343) \text{ kW/m}^2 \\ &= 0,0682 \text{ kW/m}^2. \end{aligned}$$

Maka perpindahan panas total dari air ke tutup dari persamaan 2-30 adalah

$$\begin{aligned} q_{\text{Total}} &= 0 + 0,0215 + 0,5681 + 0,0682 + 0,1006 + 0,4195 \\ &= 1,3714 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

Kalor yang berguna dari proses destilasi ini adalah perpindahan kalor konveksi dari plat ke air ke kaca penutup.

Selanjutnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_u &= q_i + q_{\text{uap}} \\ &= 0 + 0,5681 \\ &= 0,5681 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

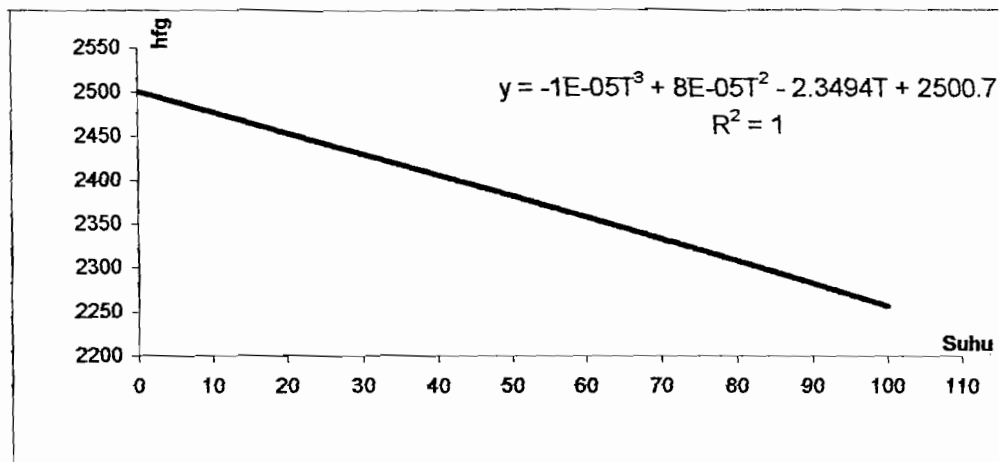
Maka efisiensi harian dari sebuah penyulingan adalah harga perpindahan kalor yang berguna ( $q_u$ ) dibagi dengan perpindahan kalor total ( $q_{\text{total}}$ ).

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{0,5681}{1,3714} \\ &= 0,41424 = 41,42 \% \end{aligned}$$

Kemudian kita bisa menghitung laju distilasi (kecepatan perpindahan massa penguapan)  $m_{uap}$

$$m_{uap} = \frac{q_{uap}}{h_{fg}} \quad L / (jam.m^2)$$

Dari lamp. tabel A-8 maka kita akan memperoleh :



Gambar 3.2 Gambar hubungan antara  $h_{fg}$  dengan suhu

Dari gambar diatas kita dapatkan persamaan :

$$h_{fg} = Y = -1E-05 T^3 + 8E-05 T^2 - 2,3494 T + 2500,7 \text{ kJ/kg.} \quad (3-2)$$

Kemudian kita bisa memasukkan  $T_w = 78^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} h_{fg} &= (-1E-05 \times 78^3) + (8E-05 \times 78^2) - (2,3494 \times 78) + 2500,7 \\ &= 2313,188 \text{ kJ/kg.} \end{aligned}$$

Kemudian kita masukkan ke dalam persamaan (2-24) :

$$\begin{aligned} m_{uap} &= \frac{0,5681 \times 3600 \text{ kJ}/(\text{jam.m}^2)}{2313,188 \text{ kJ}/\text{kg}} \\ &= 0,8841 \text{ L}/(\text{jam.m}^2) \end{aligned}$$

Perhitungan data selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini :

Tabel 3-67 kaca hitam tanggal 23 -11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
9:00	28	28	30	37	301	303	0.03409	0.038359	3408.59
10:00	35	35	43	72	308	316	0.05129	0.080309	5129
11:00	39	40	45	64	313	318	0.06805	0.089525	6805.2
12:00	48	49	50	76	322	323	0.11077	0.116725	11077.3
13:00	53	54	49	56	327	322	0.14338	0.110773	14338.3
14:00	49	49	45	57	322	318	0.11077	0.089525	11077.3

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	$E_w$	$grad$	$q_t$	$q_b$
3835.9	0	-0.0023946	-0.0083239	0.96	-0.0119942	0.0140896	0.011652
8030.876	0	-0.015911	-0.0939016	0.96	-0.0529102	0.0601254	0.046608
8952.522	-0.3513058	-0.0086765	-0.0606264	0.96	-0.0341908	0.0801851	0.11652
11672.5	-0.3919113	-0.0010639	-0.0103023	0.96	-0.0073031	0.0977139	0.198084
11077.34	-0.413892	0.0092579	0.0982378	0.96	0.037201	0.0970054	0.267996
8952.522	0	0.0066507	0.0574799	0.96	0.0285392	0.0801851	0.23304

$q_{total}$	$q_u$	$Eff(\%)$	$hfg$	$muap$	Hasil pen. (L)
0.0030289	-0.0083239	0	2434.76	0	
-0.0559894	-0.0939016	0	2418.1403	0	0.0625
-0.2580944	-0.4119321	0	2406.212	0	0.009375
-0.1147827	-0.4022136	0	2384.595	0	
0.095806	-0.3156542	0	2372.491	0.1490653	
0.4058948	0.0574799	14.161269	2384.595	0.0867768	
			Total	0.2358421	0.071875

Tabel 3-68 kaca bening tanggal 15-11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
9:00	29	29	30	48	302	303	0.03616	0.038359	3616.39
10:00	60	62	57	61	335	330	0.21265	0.166667	21265.1
11:00	65	67	61	97	340	334	0.26898	0.20268	26897.6
12:00	67	68	63	86	341	336	0.28163	0.223036	28163.2
13:00	63	63	55	105	336	328	0.22304	0.150813	22303.6
14:00	59	59	49	87	332	322	0.18392	0.110773	18392.4

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	Ew	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
3835.9	0	-0.0009522	-0.0034009	0.96	-0.0060269	0.0094635	0.011652
16666.67	-0.2810865	0.0098953	0.1480681	0.96	0.0400206	0.1181154	0.2913
20267.97	-0.2943999	0.0131715	0.2367888	0.96	0.0500023	0.1465556	0.361212
22303.61	-0.4736121	0.0104722	0.1996743	0.96	0.0422264	0.1731833	0.419472
15081.29	0	0.0184791	0.2714278	0.96	0.0637502	0.1309629	0.384516
11077.34	0	0.0238727	0.2841218	0.96	0.0761481	0.0973477	0.337908

$q_{total}$	$q_u$	Eff(%)	hfg	$mu_{ap}$	Hasil pen. (L)
0.0107355	-0.0034009	0	2432.3908	0	
0.326313	-0.1330184	0	2352.9614	0.2265422	
0.5133303	-0.0576111	0	2340.6417	0.3641906	0.065625
0.3714162	-0.2739377	0	2338.1664	0.3074322	0.075
0.8691359	0.2714278	31.229609	2350.5049	0.4157149	0.234375
0.8193983	0.2841218	34.67444	2360.3101	0.4333491	0.265625
			Total	1.7472291	0.640625

Tabel 3-69 kaca bening tanggal 16-11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$ (C)	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
9:00	42	43	41	73	316	314	0.08031	0.071939	8030.88
10:00	67	68	64	98	341	337	0.28163	0.233847	28163.2
11:00	70	70	66	103	343	339	0.30845	0.256803	30845.1
12:00	77	78	70	101	351	343	0.43817	0.308451	43816.6
13:00	73	73	67	102	346	340	0.35268	0.268976	35268.2
14:00	59	57	50	47	330	323	0.16667	0.116725	16666.7

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	Ew	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
7193.927	-0.3650032	0.0025538	0.0173878	0.96	0.0136107	0.0734905	0.186432
23384.71	-0.4736121	0.0078085	0.1517684	0.96	0.0339304	0.1935678	0.454428
25680.3	0	0.0079679	0.1673876	0.96	0.0345344	0.1914749	0.454428
30845.1	-0.514841	0.0215329	0.5680548	0.96	0.0727864	0.2115732	0.52434
26897.6	0	0.0140017	0.3178154	0.96	0.0527207	0.1928017	0.477732
11672.5	0.2730032	0.0147466	0.1711765	0.96	0.0530532	0.0980579	0.326256

$q_{total}$	$q_u$	Eff(%)	hfg	$mu_{ap}$	Hasil pen. (L)
-0.0715284	-0.3476154	0	2399.0287	0.0260923	
0.367891	-0.3218436	0	2338.1664	0.233673	0.16875
0.8557928	0.1673876	19.559361	2333.204	0.2582695	0.24375
0.8834464	0.0532138	6.0234377	2313.188	0.8840602	0.425
1.0550715	0.3178154	30.122639	2325.73	0.4919468	0.353125
0.9362935	0.4441797	47.440226	2365.1922	0.2605435	0.34375

Tabel 3-70 kaca bening tanggal 19-11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$ (C)	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
9:00	31	32	30	41	305	303	0.04312	0.038359	4312.28
10:00	57	57	55	99	330	328	0.16667	0.150813	16666.7
11:00	63	63	58	75	336	331	0.22304	0.175114	22303.6
12:00	65	64	60	101	337	333	0.23385	0.193108	23384.7
13:00	69	69	62	100	342	335	0.29479	0.212651	29478.5
14:00	57	57	50	72	330	323	0.16667	0.116725	16666.7

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	$E_w$	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
3835.9	-0.3138377	0.0024152	0.0093595	0.96	0.012234	0.0094635	0.034956
15081.29	0	0.0028238	0.0364182	0.96	0.0155073	0.1357268	0.326256
17511.38	0	0.0099853	0.1557099	0.96	0.0403828	0.1530685	0.396168
19310.8	0.4610226	0.007513	0.1244955	0.96	0.0327434	0.1552526	0.396168
21265.14	0	0.0164342	0.3137313	0.96	0.05912	0.1623227	0.431124
11672.5	0	0.0147466	0.1711765	0.96	0.0530532	0.0883605	0.279648

$q_{total}$	$q_u$	$Eff(\%)$	$hfg$	$mu_{ap}$	Hasil pen. (L)
-0.2454094	-0.3044781	0	2425.2734	0.013893	
0.516732	0.0364182	7.0477897	2365.1922	0.0554312	
0.7553144	0.1557099	20.615238	2350.5049	0.238483	0.23125
1.1771951	0.585518	49.738404	2348.0446	0.1908753	0.3
0.9827323	0.3137313	31.924397	2335.6872	0.4835548	0.3
0.6069848	0.1711765	28.201119	2365.1922	0.2605435	0.3
			Total	1.2427808	1.13125

Tabel 3-71 kaca bening dengan pendingin air tanggal 27-11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$ (C)	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
10:00	28	28	30	44	301	303	0.03409	0.038359	3408.59
11:00	36	37	34	49	310	307	0.05749	0.048423	5748.87
12:00	38	39	34	46	312	307	0.06435	0.048423	6435.27
13:00	41	42	37	62	315	310	0.07602	0.057489	7602.22
14:00	42	43	37	49	316	310	0.08031	0.057489	8030.88

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	$E_w$	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
3835.9	0	-0.0023946	-0.0083239	0.96	-0.0119942	0.0141406	0
4842.327	-0.3374266	0.0042335	0.0208139	0.96	0.0191784	0.0381518	0.093216
4842.327	-0.3467004	0.0084121	0.0436037	0.96	0.0322771	0.0288323	0.11652
5748.87	-0.3604566	0.0085484	0.051554	0.96	0.0332248	0.0437493	0.151476
5748.87	-0.3650032	0.0109356	0.0676698	0.96	0.0400625	0.0437493	0.17478

$q_{total}$	$q_u$	$Eff(\%)$	$hfg$	$muap$	Hasil pen. (L.)
-0.0085721	-0.0083239	0	2434.76	0	
-0.1618331	-0.3166127	0	2413.3752	0.0310478	0.025
-0.1170552	-0.3030967	0	2408.6019	0.0651719	0.025
-0.0719041	-0.3089026	0	2401.4254	0.0772851	0.06875
-0.027806	-0.2973333	0	2399.0287	0.1015459	0.025
			Total	0.2750507	0.14375

Tabel 3-72 kaca bening dengan pendingin air tanggal 25-11-2002 diluar

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_c$ (C)	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_c$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
10:00	30	31	32	65	304	305	0.04068	0.043123	4067.67
11:00	40	41	37	80	314	310	0.07194	0.057489	7193.93
12:00	43	43	38	55	316	311	0.08031	0.060834	8030.88
13:00	43	43	37	42	316	310	0.08031	0.057489	8030.88
14:00	48	48	42	83	321	315	0.10509	0.076022	10508.7
15:00	48	48	40	41	321	313	0.10509	0.068052	10508.7

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	$E_w$	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
4312.276	-0.3090432	-0.00096	-0.0038205	0.96	-0.0061472	0.0283925	0.046608
5748.87	-0.3558909	0.0063289	0.0371997	0.96	0.0264518	0.0484281	0.151476
6083.406	0	0.0085973	0.0544817	0.96	0.0335447	0.0534757	0.186432
5748.87	0	0.0109356	0.0676698	0.96	0.0400625	0.0484281	0.186432
7602.222	0	0.0112769	0.0888774	0.96	0.0420132	0.0693636	0.23304
6805.2	0	0.0164567	0.1239515	0.96	0.0554947	0.0495358	0.209736

$q_{total}$	$q_u$	$Eff(\%)$	$hfg$	$muap$	Hasil pen. (L.)
-0.2449705	-0.3128637	0	2427.6476	0	
-0.0860065	-0.3186913	0	2403.8199	0.0557108	
0.3365315	0.0544817	16.189187	2399.0287	0.0817557	0.1
0.353528	0.0676698	19.141295	2399.0287	0.1015459	0.01875
0.4445711	0.0888774	19.991729	2387.0072	0.1340418	0.05
0.4551747	0.1239515	27.231638	2387.0072	0.1869393	0.0625
			Total	0.5599935	0.23125

Tabel 3-73 kaca hitam tanggal 6-12-2002 didalam

Waktu	Tp (C)	Tw (C)	Tc (C)	T5 (C)	Tw (K)	Tc (K)	pw (bar)	pc (bar)	pw (N/m2)
0	30	30	30	35	303	303	0.03836	0.038359	3835.9
30	44	46	53	69	319	326	0.09447	0.13627	9447.21
60	49	51	57	70	324	330	0.12295	0.166667	12295.2
90	52	54	58	70	327	331	0.14338	0.175114	14338.3
120	54	56	59	70	329	332	0.15857	0.183924	15857
150	57	58	60	70	331	333	0.17511	0.193108	17511.4
180	58	59	61	70	332	334	0.18392	0.20268	18392.4
210	59	61	61	71	334	334	0.20268	0.20268	20268
240	60	61	62	71	334	335	0.20268	0.212651	20268

pc (N/m2)	qi (kW/m2)	qkonv.	quap	Ew	qrad	qi	qb
3835.9	0	0	0	0.96	0	0.0047329	0.011652
13627.04	-0.2370479	-0.0142215	-0.1381641	0.96	-0.0511273	0.1191827	0.163128
16666.67	-0.2510679	-0.0119789	-0.1419984	0.96	-0.045682	0.1419858	0.17478
17511.38	-0.2593615	-0.0070943	-0.0915619	0.96	-0.0310154	0.1477851	0.256344
18392.35	-0.2648445	-0.0048971	-0.0673344	0.96	-0.0235808	0.153624	0.279648
19310.8	-0.4312156	-0.0028904	-0.0423099	0.96	-0.0159354	0.1595026	0.314604
20267.97	-0.4355123	-0.0029158	-0.0444901	0.96	-0.0160798	0.1654209	0.326256
20267.97	-0.2784002	0	0	0.96	0	0.1654209	0.337908
21265.14	-0.4440665	-0.0011735	-0.0190393	0.96	-0.008149	0.1713792	0.34956

qtotal	qu	Eff(%)	hfg	muap	Hasil pen. (L)
0.0163849	0	0	2430.02	0	0
-0.15825	-0.3752119	0	2391.8235	0	0
-0.1339614	-0.3930663	0	2379.7622	0	0
0.015096	-0.3509234	0	2372.491	0	0
0.0726151	-0.3321789	0	2367.6283	0	0
-0.0182447	-0.4735255	0	2362.7528	0	0
-0.0073212	-0.4800025	0	2360.3101	0	0
0.2249287	-0.2784002	0	2355.4145	0	0
0.0485108	-0.4631058	0	2355.4145	0	0
			Total	0	0

Tabel 3-74 kaca bening tanggal 27-11-2002 didalam

Waktu	$T_p$ (C)	$T_w$ (C)	$T_e$ (C)	$T_5$ (C)	$T_w$ (K)	$T_e$ (K)	$p_w$ (bar)	$p_c$ (bar)	$p_w$ (N/m <sup>2</sup> )
0	28	28	28	29	301	301	0.03409	0.034086	3408.59
30	38	41	49	68	314	322	0.07194	0.110773	7193.93
60	44	46	49	70	319	322	0.09447	0.110773	9447.21
90	50	52	53	71	325	326	0.12946	0.13627	12946.3
120	51	53	51	71	326	324	0.13627	0.122952	13627
150	55	56	55	69	329	328	0.15857	0.150813	15857
180	56	58	57	69	331	330	0.17511	0.166667	17511.4

$p_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_i$ (kW/m <sup>2</sup> )	$q_{konv.}$	$q_{uap}$	$E_w$	$q_{rad}$	$q_t$	$q_b$
3408.588	0	0	0	0.96	0	-0.0047134	-0.011652
11077.34	-0.1688902	-0.0164821	-0.1301739	0.96	-0.0560214	0.0973477	0.093216
11077.34	-0.2370479	-0.0045361	-0.0401029	0.96	-0.0215045	0.0925538	0.151476
13627.04	-0.2538419	-0.001088	-0.0120496	0.96	-0.0075088	0.1148039	0.221388
12295.17	-0.2566064	0.0027348	0.0296305	0.96	0.0149485	0.1036009	0.23304
15081.29	-0.4225816	0.0011154	0.0140772	0.96	0.0077183	0.1357268	0.302952
16666.67	-0.2702922	0.0011342	0.0155882	0.96	0.0078601	0.1472483	0.314604

$q_{total}$	$q_u$	$Eff(\%)$	$hfg$	$muap$	Hasil pen. (L)
-0.0163654	0	0	2434.76	0	
-0.181004	-0.2990641	0	2403.8199	0	
-0.0591616	-0.2771507	0	2391.8235	0	
0.0617036	-0.2658915	0	2377.3414	0	
0.1273483	-0.2269759	0	2374.9178	0.0449151	0.025
0.0390081	-0.4085044	0	2367.6283	0.0214045	0.025
0.2161426	-0.2547041	0	2362.7528	0.0237509	0.0375
			Total	0.0900705	0.0875

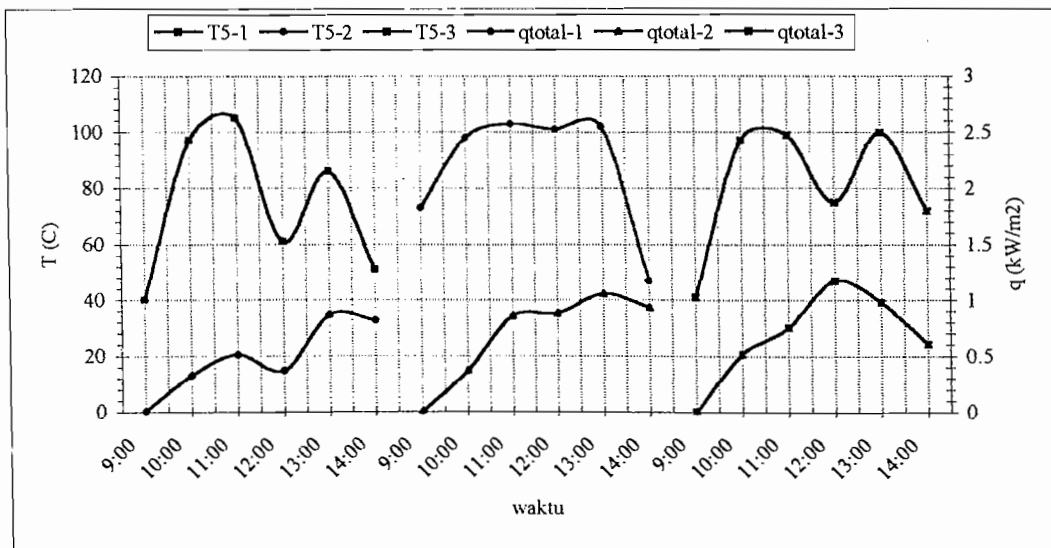


## BAB IV ANALISIS DATA HASIL PENGUJIAN

Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa temperatur kaca destilasi tergantung intensitas sinar matahari, pada saat dilakukan pengambilan data dilakukan pada cuaca yang cukup cerah dengan temperatur lingkungan rata rata berkisar :28-31 °C dan kecepatan angin rata rata 5 (m/s) . Data data yang peroleh dapat dilihat pada table berikut ini :

### 4.1 Kaca bening

#### 4.1.1 Perpindahan kalor total



Gambar 4-1 Hubungan antara plat banding (T5) dengan kalor uap ( $q_{evap}$ )

Tabel 4-1 Kalor uap ( $q_{\text{evap}}$ )

15 November 2002			16 November 2002			19 November 2002		
Waktu	T5-1	qttotal-1	Waktu	T5-2	qttotal-2	Waktu	T5-3	qttotal-3
9:00	40	0,011	9:00	73	0	9:00	41	0
10:00	97	0,326	10:00	98	0,368	10:00	97	0,517
11:00	105	0,513	11:00	103	0,856	11:00	99	0,755
12:00	61	0,371	12:00	101	0,883	12:00	75	1,177
13:00	86	0,869	13:00	102	1,055	13:00	100	0,983
14:00	51	0,819	14:00	47	0,936	14:00	72	0,607

Perbedaan yang terjadi terletak pada perubahan lingkungan yang berlangsung secara lambat. Proses ini dapat dilihat pada:

- Grafik pertama

Perubahan lingkungan yang berlangsung secara lambat ini akan mengakibatkan penurunan kalor pada alat tersebut. Akan tetapi untuk kenaikan intensitas radiasi yang berlangsung secara lambat juga akan mengakibatkan perubahan kalor akan seiring dengan perubahan tersebut.

- Grafik kedua

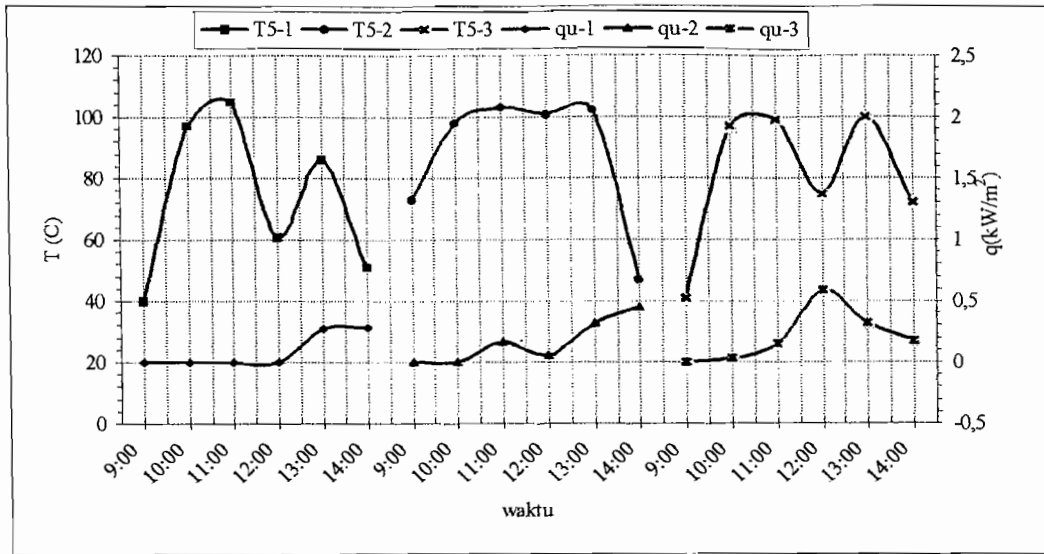
Pada proses ini, intensitas radiasi matahari yang terjadi maksimum. Maka energi kalor yang terjadi didalam alat ini juga maksimum seiring dengan intensitas yang terjadi.

- Grafik ketiga

Pada proses ini radiasi yang terjadi cukup maksimum akan tetapi pada suatu ketika (pukul 12:00) terjadi penurunan intensitas radiasi secara cepat. Penurunan ini akan mengakibatkan proses perpindahan kalor didalam alat tersebut

akan menjadi maksimum baik kalor yang berguna maupun yang hilang.

4.1.2 Perpindahan kalor yang berguna



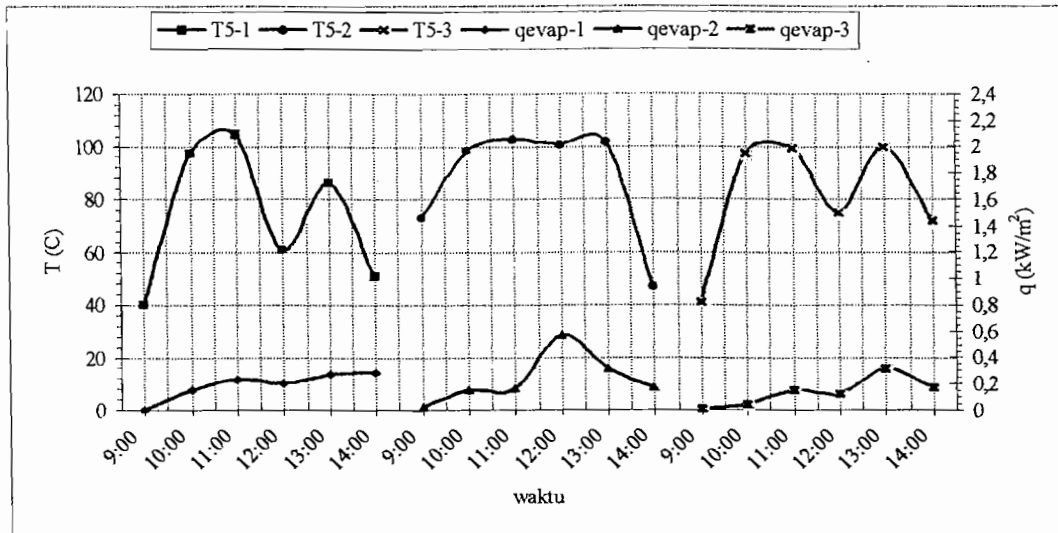
Gambar 4-2 Hubungan antara plat banding (T5) dengan kalor yang berguna ( $q_u$ )

Tabel 4-2 Kalor yang berguna ( $q_{evap}$ )

15 November 2002			16 November 2002			19 November 2002		
Waktu	T5-1	$q_u-1$	Waktu	T5-2	$q_u-2$	Waktu	T5-3	$q_u-3$
9:00	40	0	9:00	73	0	9:00	41	0
10:00	97	0	10:00	98	0	10:00	97	0,036
11:00	105	0	11:00	103	0,167	11:00	99	0,156
12:00	61	0	12:00	101	0,053	12:00	75	0,586
13:00	86	0,271	13:00	102	0,318	13:00	100	0,314
14:00	51	0,284	14:00	47	0,444	14:00	72	0,171

Reaksi yang terjadi didalam alat ini hampir sama dengan reaksi kalor total karena kalor yang berguna adalah kalor uap dan kalor konveksi, maka harga kalor uapnya sesuai dengan intensitas radiasi matahari dan konveksi paksa yang terjadi pada alat tersebut.

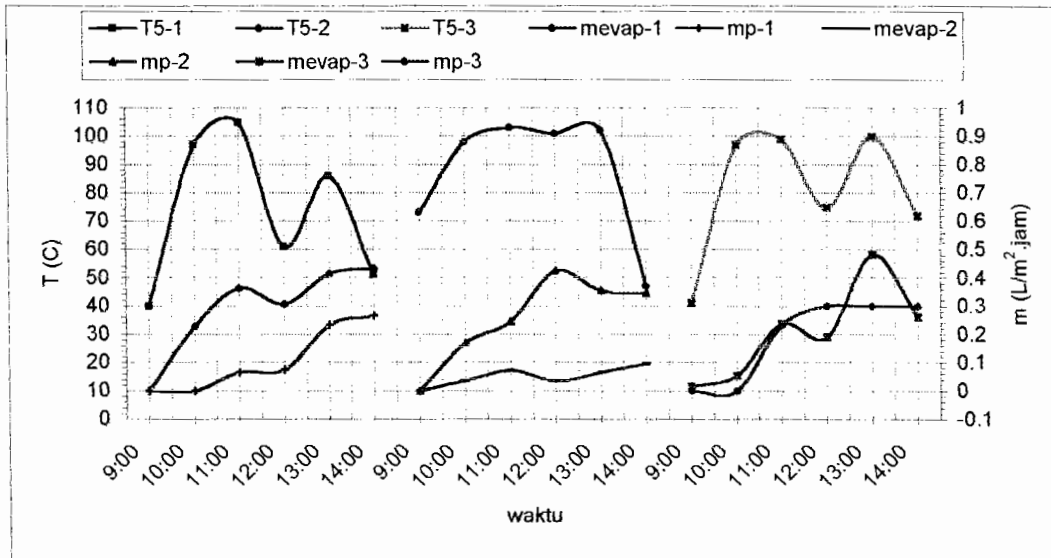
## 4.1.3 Perpindahan kalor uap

Gmbar 4-3 Hubungan antara plat banding (T5) dengan kalor uap ( $q_{\text{evap}}$ )Tabel 4-3 Kalor uap ( $q_{\text{evap}}$ )

15 November 2002			16 November 2002			19 November 2002		
Waktu	T5-1	qevap-1	Waktu	T5-2	qevap-2	Waktu	T5-3	qevap-3
9:00	40	0	9:00	73	0,017	9:00	41	0,009
10:00	97	0,148	10:00	98	0,152	10:00	97	0,036
11:00	105	0,237	11:00	103	0,167	11:00	99	0,156
12:00	61	0,200	12:00	101	0,568	12:00	75	0,125
13:00	86	0,271	13:00	102	0,318	13:00	100	0,314
14:00	51	0,284	14:00	47	0,171	14:00	72	0,171

Radiasi matahari yang sampai ke dalam alat kemudian diserap oleh plat hitam. Plat hitam akan menjadi panas dan energi kalornya akan berpindah secara konveksi ke dalam air. Molekul air akan menjadi panas dan bergerak dengan cepat menuju ke daerah yang bertemperatur lebih rendah. Jadi jumlah energi kalor uap yang terjadi tergantung pada intensitas radiasi matahari dan konveksi pada kaca

4.1.4 Massa uap



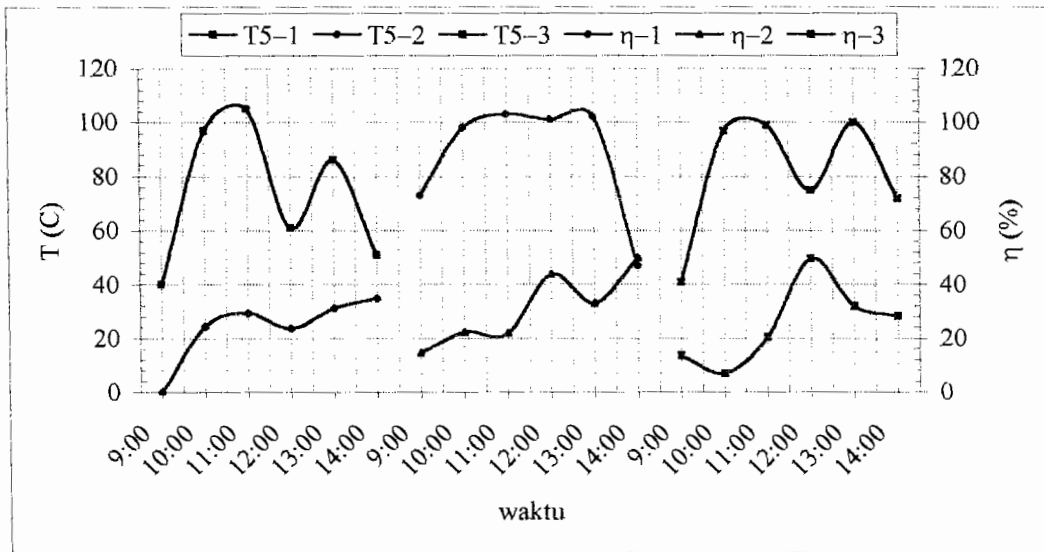
Gambar 4-4 Hubungan antara plat banding (T5) dengan massa uap ( $m_{evap}$ ) dan massa hasil pengukuran ( $m_p$ )

Tabel 4-4 Massa uap ( $m_{evap}$ ) dan massa hasil pengukuran ( $m_p$ )

15 November 2002				16 November 2002				19 November 2002			
Waktu	T5-1	$m_{evap-1}$	$m_p-1$	Waktu	T5-2	$m_{evap-2}$	$m_p-2$	Waktu	T5-3	$m_{evap-3}$	$m_p-3$
9:00	40	0	0	9:00	73	0	0	9:00	41	0,014	0
10:00	97	0,227	0	10:00	98	0,0348	0,169	10:00	97	0,055	0
11:00	105	0,364	0,066	11:00	103	0,0730	0,244	11:00	99	0,238	0,231
12:00	61	0,307	0,075	12:00	101	0,0343	0,425	12:00	75	0,191	0,300
13:00	86	0,416	0,234	13:00	102	0,0660	0,353	13:00	100	0,484	0,300
14:00	51	0,433	0,266	14:00	47	0,0966	0,344	14:00	72	0,261	0,300

Massa uap yang terjadi pada alat ini adalah sama seperti harga perpindahan kalor. Ini terjadi karena massa uap yang terjadi tergantung oleh proses konveksi pada kaca dan besar kecilnya kalor uap yang terjadi. Apabila intensitas matahari besar maka kalor uap yang terjadi juga besar. Akan tetapi jika konveksi paksa yang terjadi pada kaca hanya kecil maka hasil uapnya juga kecil. Perbedaan massa hasil pengukuran dengan massa teoritis hampir sama, yaitu disebabkan oleh kerugian dari perjalanan menuju ketempat penampungan. Ketika uap air telah menjadi embun dan menempel kepermukaan kaca bagian dalam maka uap air akan turun ketempat penampungan akan tetapi uap air tersebut harus terkumpul cukup banyak baru bisa turun ketempat penampungan.

4.1.5 Effisiensi



Gambar 4-5 Hubungan antara plat banding (T5) dengan efisiensi ( $\eta$ )

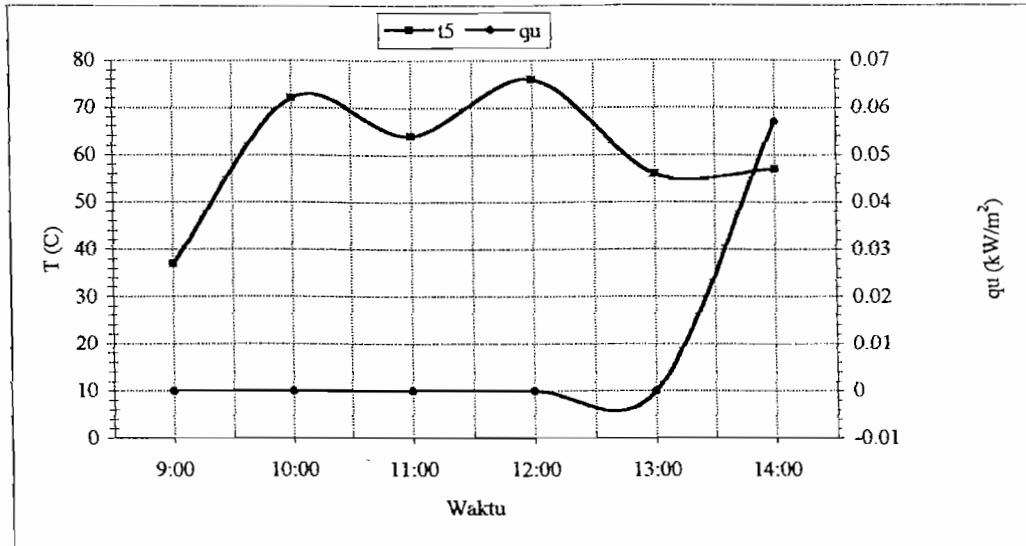
Tabel 4-5 Effisiensi ( $\eta$ )

15 November 2002			16 November 2002			17 November 2002		
Waktu	T5-1	$\eta$ -1	Waktu	T5-2	$\eta$ -2	Waktu	T5-3	$\eta$ -3
9:00	40	0	9:00	73	14,649	9:00	41	13,678
10:00	97	24,377	10:00	98	22,372	10:00	97	7,048
11:00	105	29,315	11:00	103	21,950	11:00	99	20,615
12:00	61	23,629	12:00	101	43,919	12:00	75	49,738
13:00	86	31,230	13:00	102	33,042	13:00	100	31,924
14:00	51	34,674	14:00	47	50,011	14:00	72	28,201

Effisiensi dari alat destilasi yaitu intensitas radiasi surya yang masuk ke dalam alat hampir konstan, maka efektifitas kerja dari alat ini juga bertambah menurut waktu dan temperatur lingkungan.

## 4.2. kaca hitam

### 4.2.1 perpindahan kalor total



Gambar 4-6 Hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan massa uap( $m_{evap}$ )

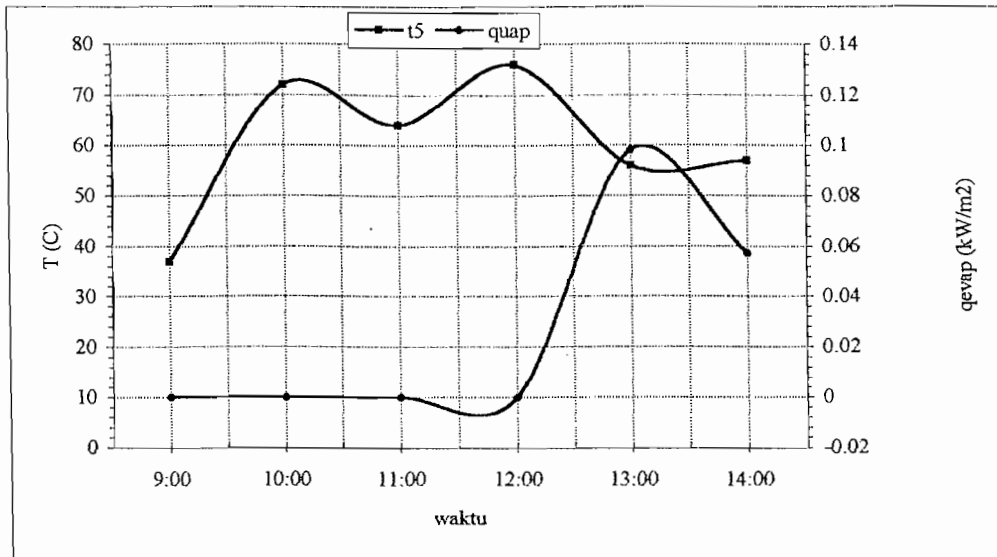
Tabel 4-6 Massa uap( $q_{evap}$ )  
Kaca hitam tanggal 23-11-2002

Waktu	t5	qu
9:00	37	0
10:00	72	0
11:00	64	0
12:00	76	0
13:00	56	0
14:00	57	0,057

Perubahan temperatur lingkungan yang terjadi secara lambat ini akan mengakibatkan penurunan kalor pada alat. Akan tetapi untuk kenaikan intensitas radiasi yang berlangsung secara cepat juga akan mengakibatkan perubahan kalor

Pada proses ini, massa uap terjadi pada pukul 12 akan tetapi massa uap yang dihasilkan relative kecil.

## 4.2.2 Perpindahan kalor total

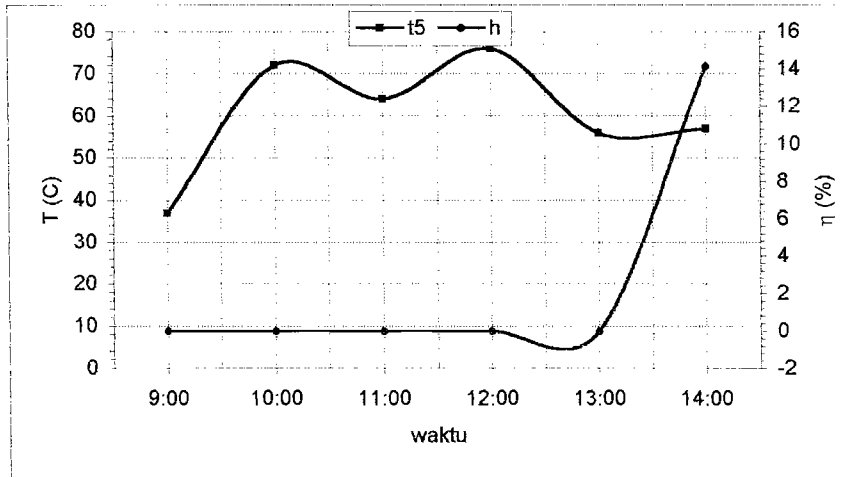
Gambar 4-7 Hubungan antara plat banding ( $T_5$ ) dengan kalor yang berguna ( $q_u$ )Tabel 4-7 Massa uap( $q_{uap}$ )  
Kaca hitam tanggal 23-11-2002

Waktu	t5	quap
9:00	37	0
10:00	72	0
11:00	64	0
12:00	76	0
13:00	56	0,0982
14:00	57	0,0574

Dari grafik diatas didapatkan bahwa ketika radiasi maksimum maka perpindahan kalor yang berguna berlangsung secara cepat .Ini disebabkan karena pada kaca terjadi perpindahan panas secara konveksi maka kaca akan cepat panas sehingga air uap yang dihasilkan sedikit



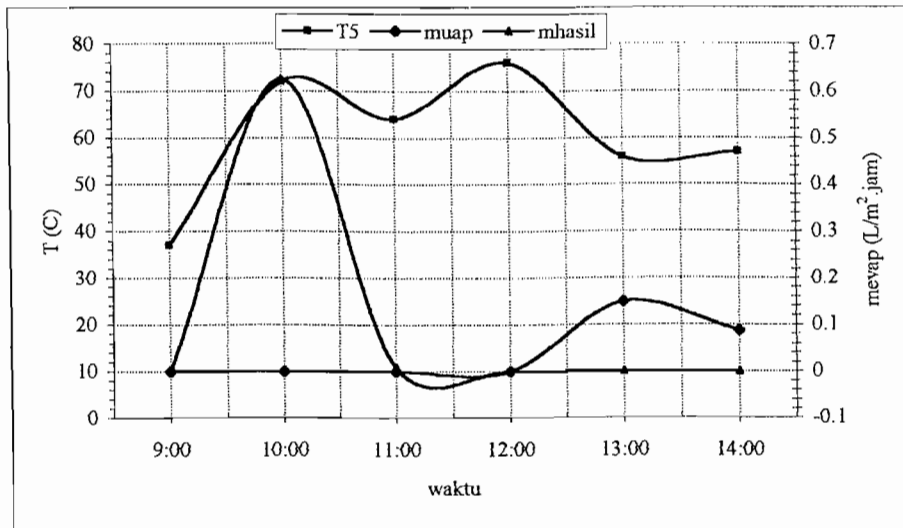
## 4.2.3 Efisiensi

Gambar 4-8 hubungan antara plat banding( $T_5$ ) dengan efisiensi ( $\eta$ )Tabel 4-8 Efisiensi  
Kaca hitam tanggal 23-11-2002

Waktu	$t_5$	$\eta$
9:00	37	0
10:00	72	0
11:00	64	0
12:00	76	0
13:00	56	0
14:00	57	14,1612

Efisiensi dari kaca hitam ini tidak maksimum karena kaca hitam ini mempunyai sifat yang mudah menyerap kalor sehingga kaca cepat panas sedang plat dan air masih rendah, ini yang menyebabkan sedikitnya pengembunan

## 4.2.4 . Massa uap

Gambar 4-9 Hubungan antara plat banding ( $T_5$ ) dengan massa hasil ( $m_{\text{hasil}}$ )

Tabel 4-9 massa hasil uap

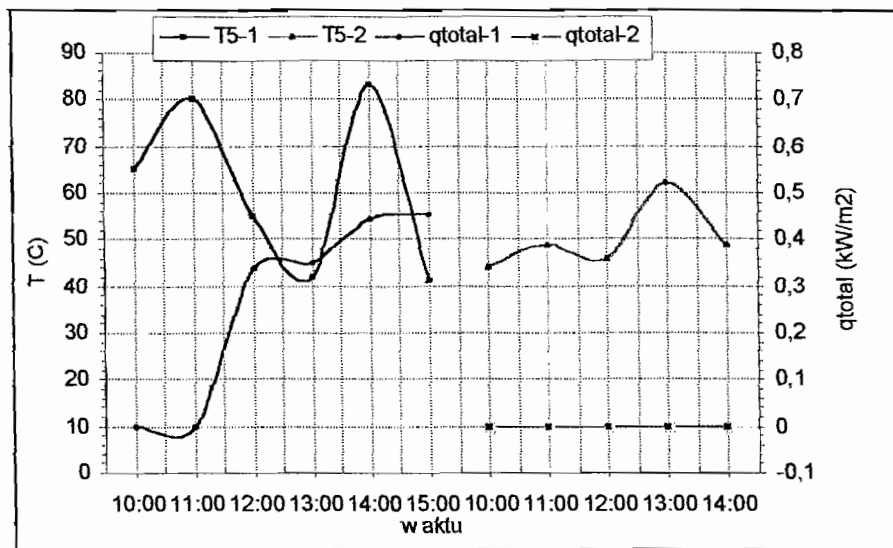
kaca hitam tanggal 23-11-2002

Waktu	T5	muap	mhasil
9:00	37	0	0
10:00	72	0	0,625
11:00	64	0	0,00937
12:00	76	0	0
13:00	56	0,149	0
14:00	57	0,0867	0

Massa hasil uap tergantung pada besar dan kecilnya konveksi yang terjadi pada permukaan kaca, akan tetapi pada kaca hitam ini hasil uap didapatkan pada jam 10-11 saja karena pada jam 12 itu temperatur kaca tinggi dibandingkan dengan plat dan air

### 4.3 Kaca bening dengan pendingin air

#### 4.3.1 perpindahan kalor total



Gambar 4-10 Hubungan antara plat banding( $T_s$ ) dengan perpindahan kalor total( $q_{total}$ )

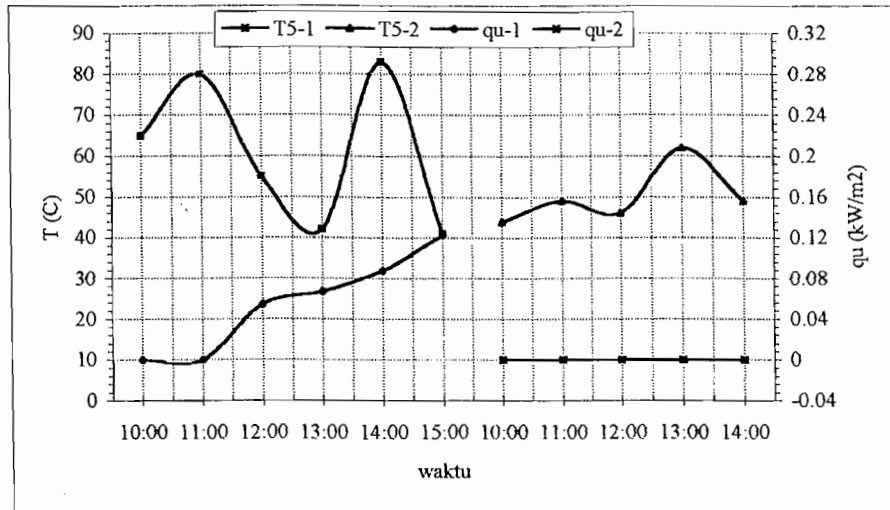
Tabel 4-10 kaca bening dengan pendingin air

25 November 2002			27 November 2002		
waktu	T5-1	$q_{total}$	Waktu	T5-2	$q_{total}$
10:00	65	0	10:00	44	0
11:00	80	0	11:00	49	0
12:00	55	0,336	12:00	46	0
13:00	42	0,35	13:00	62	0
14:00	83	0,444	14:00	49	0
15:00	41	0,455			

Pada grafik tanggal 25 terjadi kenaikan dan penurunan yang cepat ini disebabkan karena pengaruh cuaca . Cepatnya kenaikan karena intensitas matahari yang tinggi yang langsung masuk ke plat banding ,sedang penurunan karena cuaca yang buruk misalnya mendung dan juga kecepatan angin yang kurang .

Sedangkan pada tanggal 27 intensitas sinar matahari yang diterima oleh plat banding naik terus sehingga air pendingin ikut panas yang mengakibatkan  $q_{total}$  tidak ada hasilnya .

## 4.3.2 kalor yang berguna

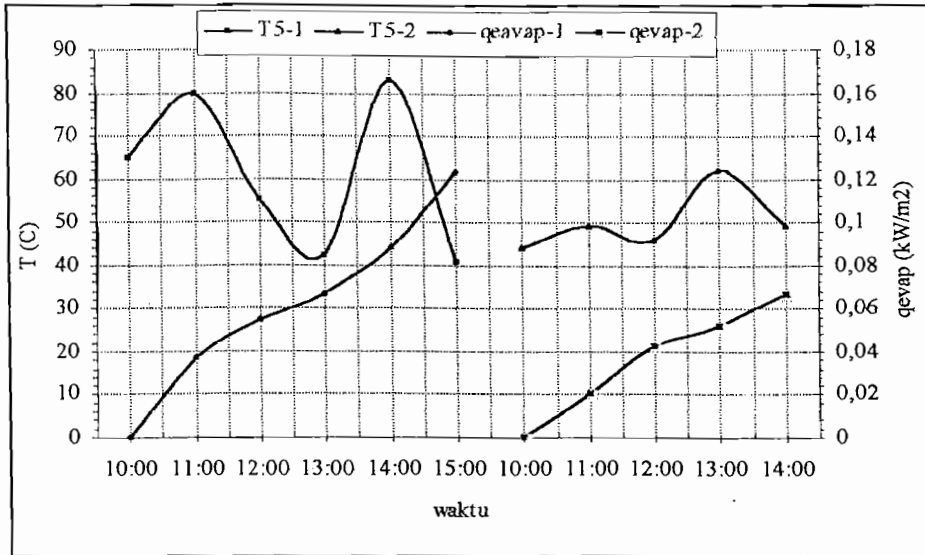
Gambar 4-11 Hubungan antara plat banding ( $T_5$ ) dengan perpindahan kalor yang berguna ( $q_u$ )

Tabel 4-11 kaca bening dengan pendingin air

waktu	T5-1	qu-1	Waktu	T5-2	qu-2
10:00	65	0	10:00	44	0
11:00	80	0	11:00	49	0
12:00	55	0,0544	12:00	46	0
13:00	42	0,067	13:00	62	0
14:00	83	0,088	14:00	49	0
15:00	41	0,123			

Dari grafik diatas dapat dilat bahwa ketika radiasi maksimum maka perpindahan kalor yang berguna ( $q$  konveksi plat –air dan  $q$  evap air –kaca) yang terjadi secara lambat .Ini disebabkan karena pada saat radiasi yang kurang maka terjadi perpindahan kalor secara konveksi pada kaca bagian atas yang temperaturnya lebih rendah maka uap air akan menempel pada kaca sehingga menghasilkan titik titik air.

4.3.3 Kalor uap



Gambar 4-12 Hubungan antara plat banding( $T_s$ ) dengan perpindahan kalor uap( $q_{uap}$ )

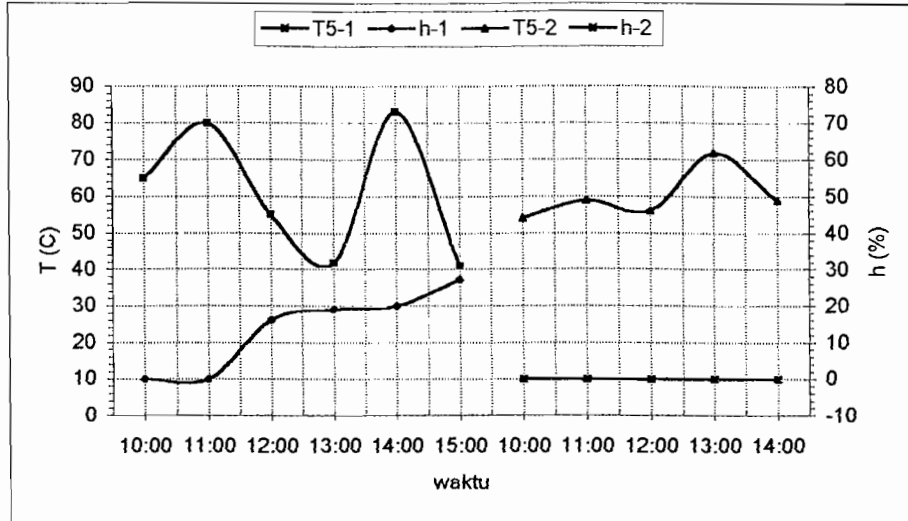
Tabel 4-12 kaca bening dengan pendingin air

waktu	T5-1	qeavap-1	waktu	T5-2	qeavap-2
10:00	65	0	10:00	44	0
11:00	80	0,037	11:00	49	0,02
12:00	55	0,0544	12:00	46	0,043
13:00	42	0,067	13:00	62	0,0515
14:00	83	0,088	14:00	49	0,067
15:00	41	0,123			

Dari penelitian di ketahui bahwa radiasi matahari masuk melewati kaca yang akan diserap oleh absorber sehingga absorber menjadi panas dan terjadi perpindahan kalor secara konveksi yang akan ditransmisikan ke air. Molekul air yang terkena panas yang akan bergerak ke tempat yang temperaturnya lebih rendah, maka terjadi titik titik air atau embun.

Dari gambar didapatkan bahwa radiasi matahari tidak bisa semuanya masuk, karena air pada pendinginan keruh sehingga sinar matahari tidak bisa menembus. Sebaiknya setiap kali penelitian air pendingin harus selalu diganti

4.3.4 . Effisiensi



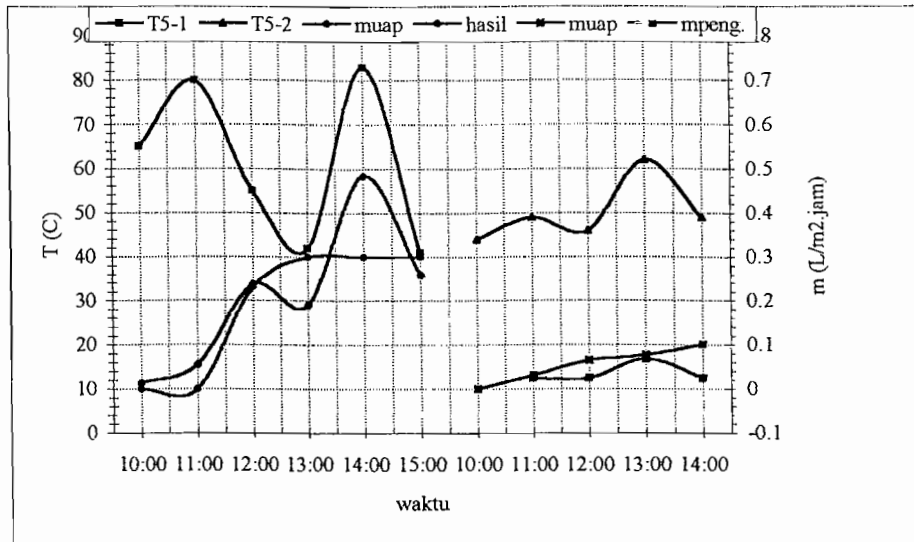
4-13 Hubungan antara plat banding ( $T_s$ ) dengan effisiensi ( $\eta$ )

Tabel 4-13 effisiensi kaca terang dengan pendingin air tanggal 25,27-11-2002

waktu	T5-1	$\eta$ -1	waktu	T5-2	$\eta$ -2
10:00	65	0	10:00	44	0
11:00	80	0	11:00	49	0
12:00	55	16,189	12:00	46	0
13:00	42	19,1412	13:00	62	0
14:00	83	19,9917	14:00	49	0
15:00	41	27,231			

Dari grafik diatas didapat ketika intensitas sinar matahari maksimum sampai mencapai keadaan yang steady akan menghasilkan uap air , maka faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap proses penguapan .Sedang pada tanggal 27 effisiensi nol karena pada saat itu cuaca mendung

4.3.5 Massa hasil uap

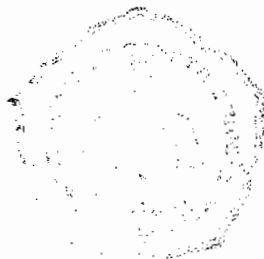


Gambar 4-14 hubungan antara plat banding ( $T_s$ ) dengan massa hasil uap ( $m_{uap}$ )

Tabel 4-14 massa hasil uap

25 November 2002				27 November 2002			
waktu	T5-1	muap	mhasil	waktu	T5-2	muap	mhasil.
10:00	65	0,0138	0	10:00	44	0	
11:00	80	0,0554	0	11:00	49	0,031047	0,025
12:00	55	0,238	0,2312	12:00	46	0,065171	0,025
13:00	42	0,1908	0,3	13:00	62	0,07728	0,0687
14:00	83	0,4835	0,3	14:00	49	0,10154	0,025
15:00	41	0,2605	0,3				

Massa uap tergantung pada besar dan kecilnya konveksi yang terjadi pada permukaan kaca . Apabila radiasi yang masuk ke dalam alat yang ditransmisikan oleh kaca cukup besar maka kalor uap yang terjadi akan besar akan tetapi uap air ini tidak akan menjadi titik titik embun bila temperatur kaca tinggi. maka temperatur kaca seharusnya rendah untuk menghasilkan titik titik air



## **BAB V KESIMPULAN**

Dari hasil pengambilan data dari ketiga jenis kaca antara lain kaca terang, kaca terang dengan pendingin air dan kaca hitam didapatkan :

- Temperatur lingkungan dan kecepatan angin berpengaruh terhadap proses konveksi pada kaca pada saat menghasilkan uap.
- Komponen utama dalam distilasi adalah kaca penutup, nilai nilai yang perlu diperhatikan yaitu kaca harus punya nilai absorptivitas yang rendah dan transmisivitas yang tinggi.
- Untuk mengurangi kerugian kalor pada plat harus ditambah ketebalan isolasinya.
- Pada kaca dengan pendingin air seharusnya air pendingin setiap pengambilan data harus selalu diganti agar cahaya matahari bisa masuk ke dalam plat dan air .
- Hasil dari perhitungan massa uap dengan hasil penelitian didapatkan berbeda karena adanya kerugian kalor yang dialami oleh alat ketika uap air menjadi embun, misalnya perubahan kecepatan konveksi, sudut kemiringan kaca penutup.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Duffie, J. A., dan W. A. Beckman, *Solar Energy Thermal Proses*, John Wiley & Son, Inc., New York, 1974
2. E. jasjfi .Ir.M.Sc, J.p.Holman.Prof, *Perpindahan Kalor*, PT. Erlangga, Jakarta, 1995
3. Wiranto Arismunandar.Prof, Ted J. jansen, *Teknologi Rekayasa SuryaDasar*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
4. Siegel , R., dan J. R. Howell : *Thermal Radiation Heat and Mass Transfer* McGraw-Hill Book Company, New York,1980.

# LAMPIRAN

Tabel 4.14. Tabel Uap

$t$ °C	$p_s$ bar	$v_g$ m <sup>3</sup> /kg	$h$			$s$		
			$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
			kJ/kg			kJ/(kg·K)		
0.01	0.006112	206.1	0	2500.8	2500.8	0	9.155	9.155
1	0.006566	192.6	4.2	2498.3	2502.5	0.015	9.113	9.128
2	0.007054	179.9	8.4	2495.9	2504.3	0.031	9.071	9.102
3	0.007575	168.2	12.6	2493.6	2506.2	0.046	9.030	9.076
4	0.008129	157.3	16.8	2491.3	2508.1	0.061	8.989	9.050
5	0.008719	147.1	21.0	2488.9	2509.9	0.076	8.948	9.024
6	0.009346	137.8	25.2	2486.6	2511.8	0.091	8.908	8.999
7	0.01001	129.1	29.4	2484.3	2513.7	0.106	8.868	8.974
8	0.01072	121.0	33.6	2481.9	2515.5	0.121	8.828	8.949
9	0.01147	113.4	37.8	2479.6	2517.4	0.136	8.788	8.924
10	0.01227	106.4	42.0	2477.2	2519.2	0.151	8.749	8.900
11	0.01312	99.90	46.2	2474.9	2521.1	0.166	8.710	8.876
12	0.01401	93.83	50.4	2472.5	2522.9	0.180	8.671	8.851
13	0.01497	88.17	54.6	2470.2	2524.8	0.195	8.633	8.828
14	0.01597	82.89	58.8	2467.8	2526.6	0.210	8.594	8.804
15	0.01704	77.97	62.9	2465.5	2528.4	0.224	8.556	8.780
16	0.01817	73.38	67.1	2463.1	2530.2	0.239	8.518	8.757
17	0.01936	69.09	71.3	2460.8	2532.1	0.253	8.481	8.734
18	0.02063	65.08	75.5	2458.4	2533.9	0.268	8.444	8.712
19	0.02196	61.34	79.7	2456.0	2535.7	0.282	8.407	8.689
20	0.02337	57.84	83.9	2453.7	2537.6	0.296	8.370	8.666
21	0.02486	54.56	88.0	2451.4	2539.4	0.310	8.334	8.644
22	0.02642	51.49	92.2	2449.0	2541.2	0.325	8.297	8.622
23	0.02808	48.62	96.4	2446.6	2543.0	0.339	8.261	8.600
24	0.02982	45.92	100.6	2444.2	2544.8	0.353	8.226	8.579
25	0.03166	43.40	104.8	2441.8	2546.6	0.367	8.190	8.557
26	0.03360	41.03	108.9	2439.5	2548.4	0.381	8.155	8.536
27	0.03564	38.81	113.1	2437.2	2550.3	0.395	8.120	8.515
28	0.03778	36.73	117.3	2434.8	2552.1	0.409	8.085	8.494
29	0.04004	34.77	121.5	2432.4	2553.9	0.423	8.050	8.473
30	0.04242	32.93	125.7	2430.0	2555.7	0.436	8.016	8.452
32	0.04754	29.57	134.0	2425.3	2559.3	0.464	7.948	8.412
34	0.05318	26.60	142.4	2420.5	2562.9	0.491	7.881	8.372
36	0.05940	23.97	150.7	2415.8	2566.5	0.518	7.814	8.332
38	0.06624	21.63	159.1	2411.0	2570.1	0.545	7.749	8.294
40	0.07375	19.55	167.5	2406.2	2573.7	0.572	7.684	8.256
42	0.08198	17.69	175.8	2401.4	2577.2	0.599	7.620	8.219
44	0.09100	16.03	184.2	2396.6	2580.8	0.625	7.557	8.182
46	0.1009	14.56	192.5	2391.8	2584.3	0.651	7.494	8.145
48	0.1116	13.23	200.9	2387.0	2587.9	0.678	7.433	8.111
50	0.1233	12.04	209.3	2382.1	2591.4	0.704	7.371	8.075
55	0.1574	9.578	230.2	2370.1	2600.3	0.768	7.223	7.991
60	0.1992	7.678	251.1	2357.9	2609.0	0.831	7.078	7.909
65	0.2501	6.201	272.0	2345.7	2617.7	0.893	6.937	7.830
70	0.3116	5.045	293.0	2333.3	2626.3	0.955	6.800	7.755
75	0.3855	4.133	313.9	2320.8	2634.7	1.015	6.666	7.681
80	0.4736	3.408	334.9	2308.3	2643.2	1.075	6.536	7.611
85	0.5780	2.828	355.9	2295.6	2651.5	1.134	6.410	7.544
90	0.7011	2.361	376.9	2282.8	2659.7	1.192	6.286	7.478
95	0.8453	1.982	398.0	2269.8	2667.8	1.250	6.166	7.416
100	1.01325	1.673	419.1	2256.7	2675.8	1.307	6.048	7.355

Tabel 4.15. Sifat Air

°F	°C	$c_p$ , kJ/(kg·°C)	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , kg/m·s or Pa·s	$k$ W/(m·°C)	$Pr$	$g\beta\rho^2c_p/\mu k$ , 1/(m <sup>3</sup> ·°C)
32	0	4.225	999.8	$1.79 \times 10^{-3}$	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	$1.91 \times 10^9$
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	$6.34 \times 10^9$
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	$1.08 \times 10^{10}$
70	21.11	4.179	997.4	$9.8 \times 10^{-4}$	0.604	6.78	$1.46 \times 10^{10}$
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	$1.91 \times 10^{10}$
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	$2.48 \times 10^{10}$
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	$3.3 \times 10^{10}$
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	$4.19 \times 10^{10}$
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	$4.89 \times 10^{10}$
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	$5.66 \times 10^{10}$
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	$6.48 \times 10^{10}$
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	$7.62 \times 10^{10}$
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	$8.84 \times 10^{10}$
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	$9.85 \times 10^{10}$
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	$1.09 \times 10^{11}$
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	$9.51 \times 10^{-5}$			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

Tabel 4.16. Sifat Udara

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$	$c_p, \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	$k, \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	$\mu, \text{Pa}\cdot\text{s}$	$\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	$Pr$
0	1.292	1006	0.0242	$1.72 \times 10^{-5}$	$1.86 \times 10^{-5}$	0.72
20	1.204	1006	0.0257	1.81	2.12	0.71
40	1.127	1007	0.0272	1.90	2.40	0.70
60	1.059	1008	0.0287	1.99	2.69	0.70
80	0.999	1010	0.0302	2.09	3.00	0.70
100	0.946	1012	0.0318	2.18	3.32	0.69
120	0.898	1014	0.0333	2.27	3.66	0.69
140	0.854	1016	0.0345	2.34	3.98	0.69
160	0.815	1019	0.0359	2.42	4.32	0.69
180	0.779	1022	0.0372	2.50	4.67	0.69
200	0.746	1025	0.0386	2.57	5.05	0.68
220	0.715	1028	0.0399	2.64	5.43	0.68
240	0.688	1032	0.0412	2.72	5.80	0.68
260	0.662	1036	0.0425	2.79	6.20	0.68
280	0.638	1040	0.0437	2.86	6.59	0.68
300	0.616	1045	0.0450	2.93	6.99	0.68

Tabel 4.17. Nilai Sifat Sifat Logam

Logam	Sifat-sifat pada 20°C				Konduktivitas termal k, W/m · °C									
	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg · °C	k, W/m · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>5</sup>	-100°C	0°C	100°C	200°C	300°C	400°C	600°C	800°C	1000°C	1200°C
					-148°F	32°F	212°F	392°F	572°F	752°F	1112°F	1472°F	1832°F	2192°F
40%	8,169	0.46	10	0.279										
80%	8,618	0.46	35	0.872										
Invar 36% Ni	8,137	0.46	10.7	0.286										
Baja krom														
Cr = 0%	7,897	0.452	73	2.026	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
1%	7,865	0.46	61	1.665		62	55	52	47	42	36	33	33	
5%	7,833	0.46	40	1.110		40	38	36	36	33	29	29	29	
20%	7,689	0.46	22	0.635		22	22	22	22	24	24	26	29	
Cr-Ni (krom-nikel): 15% Cr, 10% Ni	7,865	0.46	19	0.527										
18% Cr, 8% Ni (V2A)	7,817	0.46	16.3	0.444		16.3	17	17	19	19	22	27	31	
20% Cr, 15% Ni	7,833	0.46	15.1	0.415										
25% Cr, 20% Ni	7,865	0.46	12.8	0.361										
Baja wolfram														
W = 0%	7,897	0.452	73	2.026										
1%	7,913	0.448	66	1.858										
5%	8,073	0.435	54	1.525										
10%	8,314	0.419	48	1.391										
Copper :														
Murni	8,954	0.3831	386	11.234	407	386	379	374	369	363	353			
Perunggu aluminium														
95% Cu, 5% Al	8,666	0.410	83	2.330										
Perunggu 75% Cu, 25% Sn	8,666	0.343	26	0.859										
Kuningan merah 85% Cu, 9% Sn, 6% Zn	8,714	0.385	61	1.804		59	71							
Kuningan 70% Cu 30% Zn	8,522	0.385	111	3.412	88		128	144	147	147				
Perak Jerman 62% Cu, 15% Ni, 22% Zn	8,618	0.394	24.9	0.733	19.2		31	40	45	48				
Konstantan 60% Cu, 40% Ni	8,922	0.410	22.7	0.612	21		22.2	26						
Magnesium:														
Murni	1,746	1.013	171	9.708	178	171	168	163	157					
Mg-Al (elektrolis-trik) 6-8% Al, 1-2% Zn	1,810	1.00	66	3.605		52	62	74	83					
Molybdenum	10,220	0.251	123	4.790	138	125	118	114	111	109	106	102	99	92
Nikel														
Murni (99,9%)	8,906	0.4459	90	2.266	104	93	83	73	64	59				
Ni-Cr 90% Ni, 10% Cr	8,666	0.444	17	0.444		17.1	18.9	20.9	22.8	24.6				
80% Ni, 20% Cr	8,314	0.444	12.6	0.343		12.3	13.8	15.6	17.1	18.0	22.5			
Perak:														
Sangat murni	10,524	0.2340	419	17.004	419	417	415	412						
Murni (99,9%)	10,525	0.2340	407	16.563	419	410	415	374	362	360				
Timah, murni	7,304	0.2265	64	3.884	74	65.9	59	57						
Wolfram	19,350	0.1344	163	6.271		166	151	142	133	126	112	76		
Seng, murni	7,144	0.3843	112.2	4.106	114	112	109	106	100	93				

Tabel 4.18. Sifat Sifat Bukan logam

Bahan	Suhu °C	$k$ , W/m · °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$c$ , kJ/kg · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>7</sup>
<i>Bahan-bahan bangunan dan penahan-kalor</i>					
Aspal	20-55	0.74-0.76			
Bata:					
Bata bangunan	20	0.69	1600	0.84	5.2
biasa					
Muka		1.32	2000		
Bata karborundum	600	18.5			
	1400	11.1			
Bata krom	200	2.32	3000	0.84	9.2
	550	2.47			9.8
	900	1.99			7.9
Tanah diatomea					
dicetak dan	200	0.24			
dibakar	870	0.31			
Bata tahan-api	500	1.04	2000	0.96	5.4
dibakar 2426°F	800	1.07			
	1100	1.09			
Dibakar 2642°F	500	1.28	2300	0.96	5.8
	800	1.37			
	1100	1.40			
Missouri	200	1.00	2600	0.96	4.0
	600	1.47			
	1400	1.77			
Magnesit	200	3.81		1.13	
	650	2.77			
	1200	1.90			
Semen, portland					
moster	23	0.29	1500		
		1.16			
Beton, sinder	23	0.76			
Batu, 1-2-4 campur	20	1.37	1900-2300	0.88	8.2-6.8
Gelas, jendela	20	0.78 (avg)	2700	0.84	3.4
Korosilikat	30-75	1.09	2200		
Plaster, gips	20	0.48	1440	0.84	4.0
lat logam	20	0.47			
lat kayu	20	0.28			
Batu:					
Granit		1.73-3.98	2640	0.82	8-18
Batu kapur	100-300	1.26-1.33	2500	0.90	5.6-5.9
Marmar		2.07-2.94	2500-2700	0.80	10-13.6
Batu pasir	40	1.83	2160-2300	0.71	11.2-11.9
Kayu (melintang serat)					
Balsa, 8.8 lb/ft <sup>3</sup>	30	0.055	140		
Sipres	30	0.097	460		
Fir	23	0.11	420	2.72	0.96
Mapel atau oak	30	0.166	540	2.4	1.28
Pinus kuning	23	0.147	640	2.8	0.82
Pinus putih	30	0.112	430		

<i>Bahan</i>	<i>Suhu</i> °C	<i>k,</i> W/m · °C	<i>ρ,</i> kg/m <sup>3</sup>	<i>c,</i> kJ/kg · °C	<i>α,</i> m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>7</sup>
<i>Bahan isolasi</i>					
Asbes:					
Ditetal longgar	-45	0.149			
	0	0.154	470-570	0.816	3.3-4
	100	0.161			
Papan asbes semen	20	0.74			
Lembaran	51	0.166			
Lakan, 40 laminasi/in	38	0.057			
	150	0.069			
	260	0.083			
20 laminasi/in	38	0.078			
	150	0.095			
	260	0.112			
Gelombang, 4 plai/in	38	0.087			
	93	0.100			
	150	0.119			
Asbes semen	—	2.08			
Wol balsam, 2.2 lb/ft <sup>3</sup>	32	0.04	35		
Karton, gelombang	—	0.064			
Celotex	32	0.048			
Papan gabus, 10 lb/ft <sup>3</sup>	30	0.043	160		
Gabus butiran ulang	32	0.045	45-120	1.88	2-5.3
Giling halus	32	0.043	150		
Tanah diatome (Sil-o-cel)	0	0.061	320		
Lakan, rambut	30	0.036	130-200		
Wol	30	0.052	330		
Serat, papan isolasi	20	0.048	240		
Wol gelas, 1.5 lb/ft <sup>3</sup>	23	0.038	24	0.7	22.6
Insulex, kering	32	0.064			
		0.144			
Kapuk	30	0.035			
Magnesia, 85%	38	0.067	270		
	93	0.071			
	150	0.074			
	204	0.080			
Wol batuan, 10 lb/ft <sup>3</sup>	32	0.040	160		
Ditetal longgar	150	0.067	64		
	260	0.087			
Serbuk gergaji	23	0.059			
Silika aerogel	32	0.024	140		
Serutan kayu	23	0.059			



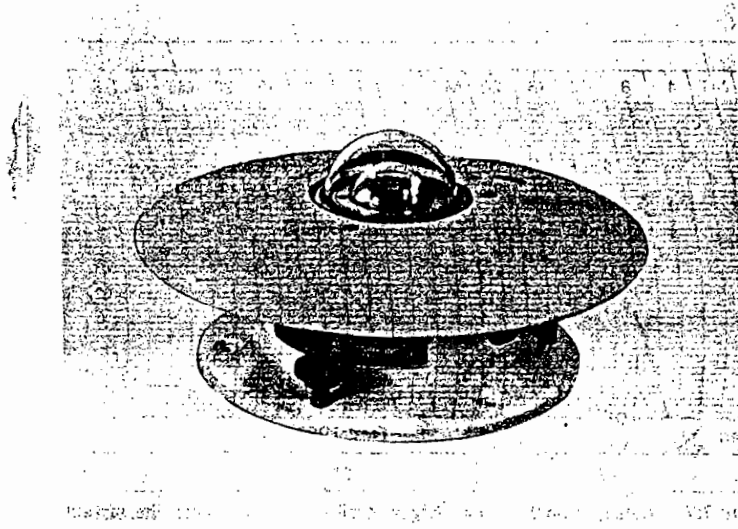
Tabel 4.19. Emisivitas Total Normal Berbagai permukaan

Permukaan	T, °F	Emisivitas $\epsilon$
<i>Logam dan oksida logam</i>		
Baja tahan-karat:		
Diupam	212	0.074
Tipe 301; B	450-1725	0.54-0.63
Timah, besi bertimah cerah	76	0.043 dan 0.064
Wolfram, filamen	6000	0.39
Seng, lembaran besi-galvanis, cukup cerah	82	0.23
<i>Bahan-tahan-api, bahan bangunan, cat, dan lain-lain</i>		
Alumina (85-99.5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0-12% SiO <sub>2</sub> , 0-1% Ge <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ); pengaruh ukuran butir rata-rata, mikron ( $\mu$ m):		
10 $\mu$ m		0.30-0.18
50 $\mu$ m		0.39-0.28
100 $\mu$ m		0.50-0.40
Asbes, papan	74	0.96
Bata:		
Merah, kasar, tidak ada ketidak-teraturan	70	0.93
Tanah liat api	1832	0.75
Karbon:		
Karbon-T (Gebrüder Siemens) 0,9% abu dimulai dengan emisivitas 0,72 pada 260°F tetapi karena dipanaskan berubah menjadi nilai berikut	260-1160	0.81-0.79
Filamen	1900-2560	0.526
Plat kasar	212-608	0.77
Jelaga, endapan kasar	212-932	0.84-0.78
Ubin beton	1832	0.63
Email, lebur putih, di atas besi	66	0.90
Gelas:		
Halus	72	0.94
Pyrex, timbal dan soda	500-1000	0.95-0.85
Cat, lak, pernis:		
Pernis email putih salju di atas plat besi kasar	73	0.906
Lak hitam mengkilap disemprotkan di atas besi	76	0.875
Lakeri ( <i>shellac</i> ) hitam mengkilap di atas lembaran besi bertimah	70	0.821
Lakeri hitam pudar	170-295	0.91
Lak hitam atau putih	100-200	0.80-0.95
Lak hitam rata	100-200	0.96-0.98
Cat aluminium dan lak:		
10% Al. 22% bahan lak, di atas permukaan kasar atau halus	212	0.52
Cat Al lain: berbeda umur dan kandungan Al	212	0.27-0.67
Porselen, bergilap ( <i>glazed</i> )	72	0.92
Kuarsa, kasar, lebur	70	0.93
Kertas atap	69	0.91
Karet, keras, plat halus	74	0.94
Air	32-212	0.95-0.963

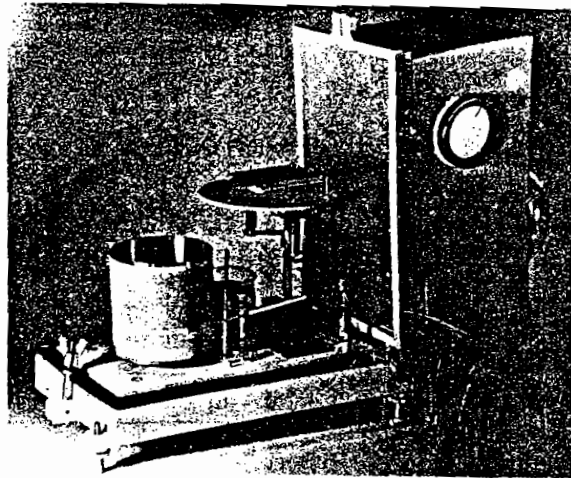
Tabel 4.20 Fungsi Fungsi Radiasi

$\lambda T$		$E_{b\lambda}/T^5$		
		Btu	W	$\frac{E_{b0-\lambda T}}{\sigma T^4}$
$\mu\text{m} \cdot ^\circ\text{R}$	$\mu\text{m} \cdot \text{K}$	$\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{R}^5 \cdot \mu\text{m} \times 10^{15}$	$\text{m}^2 \cdot \text{K}^5 \cdot \mu\text{m} \times 10^{11}$	
1,000	555.6	0.000671	$0.400 \times 10^{-5}$	$0.170 \times 10^{-1}$
1,200	666.7	0.0202	$0.120 \times 10^{-3}$	$0.756 \times 10^{-2}$
1,400	777.8	0.204	0.00122	$0.106 \times 10^{-1}$
1,600	888.9	1.057	0.00630	$0.738 \times 10^{-2}$
1,800	1,000.0	3.544	0.02111	$0.321 \times 10^{-1}$
2,000	1,111.1	8.822	0.05254	0.00101
2,200	1,222.2	17.776	0.10587	0.00252
2,400	1,333.3	30.686	0.18275	0.00531
2,600	1,444.4	47.167	0.28091	0.00983
2,800	1,555.6	66.334	0.39505	0.01643
3,000	1,666.7	87.047	0.51841	0.02537
3,200	1,777.8	108.14	0.64404	0.03677
3,400	1,888.9	128.58	0.76578	0.05059
3,600	2,000.0	147.56	0.87878	0.06672
3,800	2,111.1	164.49	0.97963	0.08496
4,000	2,222.2	179.04	1.0663	0.10503
4,200	2,333.3	191.05	1.1378	0.12665
4,400	2,444.4	200.51	1.1942	0.14953
4,600	2,555.6	207.55	1.2361	0.17337
4,800	2,666.7	212.32	1.2645	0.19789
5,000	2,777.8	215.06	1.2808	0.22285
5,200	2,888.9	216.00	1.2864	0.24803
5,400	3,000.0	215.39	1.2827	0.27322
5,600	3,111.1	213.46	1.2713	0.29825
5,800	3,222.2	210.43	1.2532	0.32300
6,000	3,333.3	206.51	1.2299	0.34734
6,200	3,444.4	201.88	1.2023	0.37118
6,400	3,555.6	196.69	1.1714	0.39445
6,600	3,666.7	191.09	1.1380	0.41708
6,800	3,777.8	185.18	1.1029	0.43905
7,000	3,888.9	179.08	1.0665	0.46031
7,200	4,000.0	172.86	1.0295	0.48085
7,400	4,111.1	166.60	0.99221	0.50066
7,600	4,222.2	160.35	0.95499	0.51974
7,800	4,333.3	154.16	0.91813	0.53809
8,000	4,444.4	148.07	0.88184	0.55573
8,200	4,555.6	142.10	0.84629	0.57267
8,400	4,666.7	136.28	0.81163	0.58891
8,600	4,777.8	130.63	0.77796	0.60449
8,800	4,888.9	125.15	0.74534	0.61941
9,000	5,000.0	119.86	0.71383	0.63371
9,200	5,111.1	114.76	0.68346	0.64740
9,400	5,222.2	109.85	0.65423	0.66051
9,600	5,333.3	105.14	0.62617	0.67305
9,800	5,444.4	100.62	0.59925	0.68506
10,000	5,555.6	96.289	0.57346	0.69655

Tabel 4.21 Jenis Jenis Alat Ukur



Gambar 4.10 Piranometer PSP Eppley. (Atas kebaikan Eppley Laboratory, Inc.)



Gambar 4.11 Piranograf mekanis. Weathertronics Model 3010 (Atas kebaikan Weathertronics, sebuah divisi dari Qualimetrics, Inc.)