



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TABUNG KACA PADA *ABSORBER PARABOLIC TROUGH*
COLLECTOR (PTC) TERHADAP EFISIENSINYA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

IWAN RUSDIAN

08 06 33 0232

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2012

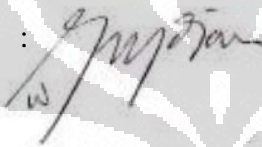
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Iwan Rusdian

NPM : 0806220232

Tanda Tangan :



Tanggal : 6 Juli 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Iwan Rusdian

NPM : 0806330232

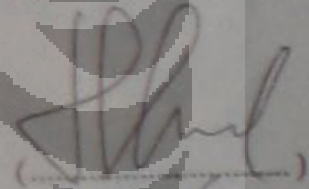
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengaruh Tabung Kaca Pada Absorber Parabolic Trough Collector (PTC) Terhadap Efisiensinya

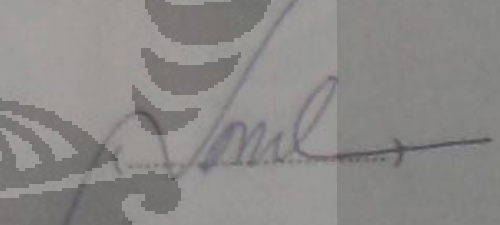
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

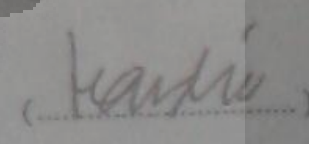
Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid



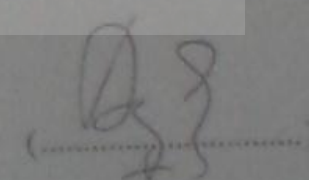
Penguji : Dr. Ir. Nasrudin, M.Eng.



Penguji : Dr. Ir. Budimanjaja, Dipl.-Ing.



Penguji : Dr. Ir. Agus Pamitran, M.Eng.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kekuatan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi yang berjudul “**Pengaruh Tabung Kaca pada Absorber Parabolic Trough Collector (PTC) Terhadap Efisiensinya**” ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Indonesia. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta yang selalu mendoakan dan terus memberi semangat kepada penulis agar dapat mengejar cita-cita.
2. Ucapan spesial untuk Nur Endah Erlina Anggraeni, terima kasih untuk doa-doa dan semangatnya.
3. Pak Dr. Ir. M. Idrus Alhamid dan Dr. -Ing. Nasruddin, M. Eng. sebagai pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam menuntun saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Pak Prof. Dr. -Ing. Ir. Nandy Putra, yang telah mengizinkan penulis untuk meminjam fasilitas lab. Heat Transfer.
5. Bapak Ruli , yang turut membantu memberikan saran dan dorongan dalam pengujian dan pengambilan data di laboratorium.
6. Saudara Angga Pramukti dan semua teman yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan kerja laboratorium refrigerasi dan semua teman yang telah bersama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Karyawan DTM FTUI atas kelancaran dan kemudahan yang diberikan selama menuntut ilmu di Universitas Indonesia.
9. Saudara-saudaraku di Derslane, terima kasih untuk bantuan dan semangatnya selama ini. Terlebih kepada Tegar bey, Hidayat bey serta Arya HI, Ari Elektro, Owi Sejarah, Luqman Mesin dan Ian Mesin, thank bro.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Penulis

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iwan Rusdian
NPM : 00806330232
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Tabung Kaca Pada *Absorber Parabolic Trough Collector* (PTC)
Terhadap Efisiensinya**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 6 Juli 2012
Yang menyatakan



(Iwan Rusdian)

ABSTRAK

Nama : Iwan Rusdian
Jurusan : Mechanical Engineering
Judul : **Pengaruh Tabung Kaca Pada Absorber Parabolic Trough Collector (PTC) Terhadap Efisiensinya.**

Skripsi ini membahas tentang percobaan parabolic trough collector (PTC) yang dilakukan di Universitas Indonesiadan bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tabung kaca pada absorber. Model *parabolic trough solar collector* terdiri dari panel kolektor, absorber dan tabung kaca. Panel kolektor merupakan alat penangkap dan pemantul cahaya matahari, sedangkan absorber adalah pipa yang berisi fluida kerja yang akan menerima panas dari pantulan panel kolektor yang diletakkan pada titik fokusnya, dan tabung kaca adalah tabung *pyrex* yang diletakan bersama absorber untuk mengurangi *heat loss*. Desain panel kolektor dibuat 2 buah yang masing-masing memiliki lebar aperture 0.9 m, panjang 1.5 m dan jarak fokus 1 m. Desain tiang panel juga dilengkapi dengan sistem slider yang dapat menggerakan absorber pada koordinat x dan y agar dapat berubah sesuai dengan arah intensitas matahari. Penggunaan tabung kaca mengurangi *heat loss* absorber menjadi rata-rata 20% dibanding absorber tanpa tabung kaca yaitu sebesar 42% dan tahanan termal masing-masingnya adalah 169.87 °C/W dan 129.95 °C/W.

Kata kunci : PTC, absorber, tabung kaca, *heat loss*

ABSTRACT

Name : Iwan Rusdian

Student ID : 0806330232

Field of Study : Mechanical Engineering

Judul : **Effect of Tabung Kaca on Parabolic Trough Collector (PTC) Absorber to the Efficiency.**

This paper discusses about parabolic trough collector (PTC) experimental in University of Indonesia and the objective of the measurement is to find out the effect of using Tabung Kaca in the absorber. The designed of PTC is consisting of collector panel, absorbere, and Tabung Kaca. Collector panel is used for capturing and reflecting the solar radiation and absorber is consisting of working fluid which is absorbing the heat from the collector panel, and about Tabung Kaca is a Pyrex tube that is put in with the absorber. It protects the absorber from degradation and reduces heat losses. Collector panel there are 2 which is both of them designed with 0.9 m aperture width, 1.5 m length and 1 m focal distance. The support designs also use a slider system which is can be moved on x and y coordinate for align with the solar radiation from the collector panel. Absorber heat loss that is used Tabung Kaca is less than heat loss of the absorber that is not using glas tube, 20% and 42% respectively and for thermal resistance are 169.87 °C/W dan 129.95 °C/W either.

Keyword : PTC, absorber pipe, glas tube, heat loss

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Radiasi Matahari.....	6
2.2 Pergerakan Bumi Terhadap Matahari	8
2.3 Sudut Matahari	10
2.4 Irradiasi Matahari.....	12
2.4.1 Irradiasi Langsung.....	13
2.4.2 Irradiasi Sebaran.....	14
2.4.3 Irradiasi Pantulan.....	14
2.5 Solar Kolektor.....	15
2.5.1 Flate Plate Collector	16
2.5.2 Compound Parabolic Collector	17
2.5.3 Evacuated Tube Collector	18
2.5.4 Linear Fresnel Collector	19
2.5.5 Parabolic Trough Collector	20
2.5.6 Heliostat Field Collector.....	20
2.5.7 Parabolic Dish Collector.....	21
2.6 Pemanas Air Tenaga Surya.....	22
2.7 Arah Solar kolektor.....	23
2.7.1 Utara Selatan.....	23
2.7.2 Timur barat	24
2.8 Concentrating Ratio	24
2.9 Performa	25
2.9.1 Efisiensi Termal Kolektor	26
2.10 Kerugian Panas Keseluruhan (<i>Overall Heat-loss</i>).....	26
2.11 Perpindahan Panas	27
2.11.1 Konduksi.....	27

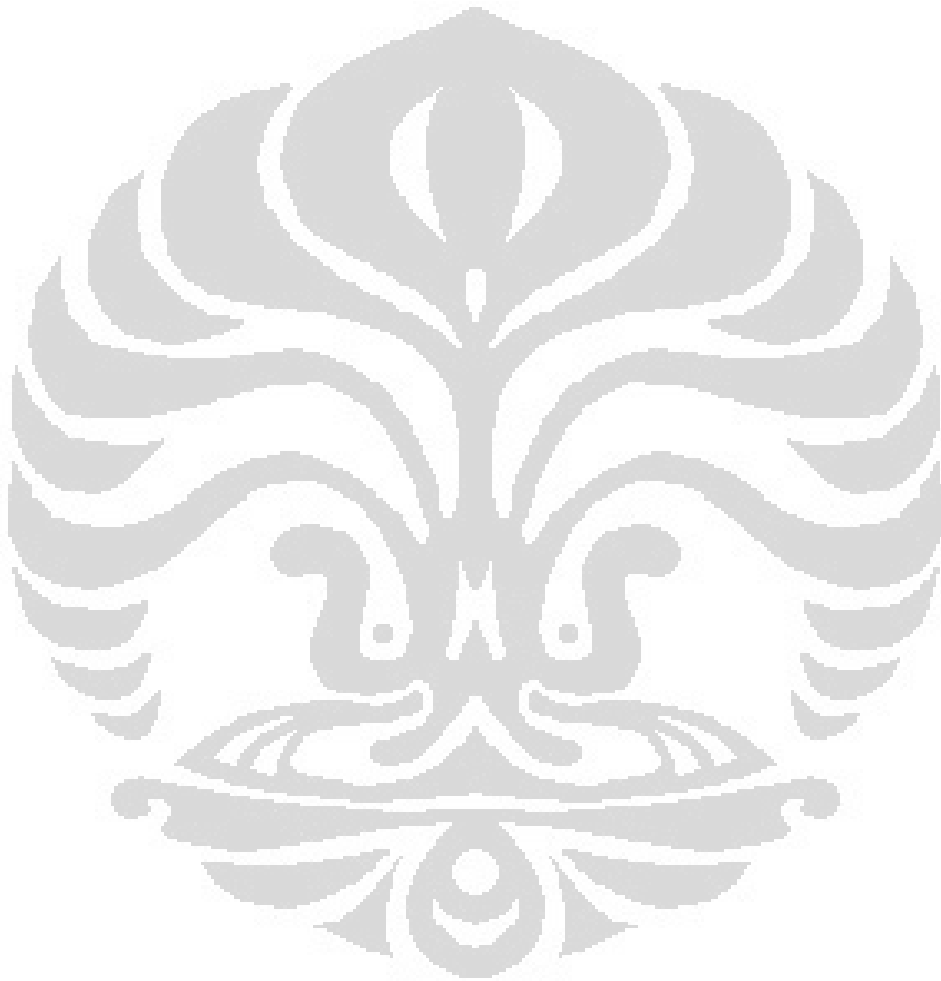
2.11.2	Konveksi.....	28
2.11.3	Radiasi	29
2.11.4	Konduktivitas Termal	30
2.11.5	Kalor Jenis	30
2.11.6	Kapasitas kalor	31
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1	Konsentrator Parabolik	33
3.2	Spesifikasi Komponen	34
3.2.1	Panel Konsentrator	34
3.2.2	Pompa Air.....	34
3.2.3	Tangki Fluida.....	35
3.2.4	Sensor Temperatur.....	35
3.2.5	Flowmeter	36
3.2.6	Minyak Sawit.....	36
3.2.7	Weather Instrument Davis	36
3.3	Pengambilan Data	37
3.3.1	Data Lokasi Tempat.....	38
3.3.2	Data Irradiasi	38
3.3.3	Data Temperatur dan Debit Aliran	38
3.4	Perhitungan dan Pengolahan Data	38
3.4.1	Concentrating Ratio	39
3.4.2	Kolektor Parabolik Dengan Tabung Kaca dan tanpa Tabung Kaca	39
3.4.3	Performa Pipa Absorber Dengan dan Tanpa Tabung Kaca	43
BAB 4	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA	46
4.1	Hasil Pengujian dan Analisa.....	47
4.1.1	Karakteristik Perbedaan Temperatur dan Radiasi dengan Adanya Tabung Kaca.....	47
4.1.2	Karakteristik Perbedaan Temperatur dan Radiasi Tanpa Adanya Tabung Kaca	48
4.1.3	Kalor Serap dan Kalor Hilang	49
4.1.3	Karakteristik Efisiensi PTC	51
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52
	DAFTAR PUSTAKA	xiv
	LAMPIRAN	xv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Posisi bumi terhadap matahari.....	9
Gambar 2.2	Lintang, sudut waktu dan deklinasi matahari.....	10
Gambar 2.3	Sudut ketinggian matahari.....	12
Gambar 2.4	Flat palte collector.....	16
Gambar 2.5	Compound parabolic collector.....	18
Gambar 2.6	Evacuated tube collector.....	19
Gambar 2.7	Linear fresnel collector.....	20
Gambar 2.8	Parabolic trough collector.....	21
Gambar 2.9	Heliostat field collector.....	22
Gambar 2.10	Parabolic dish collector.....	23
Gambar 2.11	Komponen parabolic trough collector.....	24
Gambar 2.12	Geometri kolektor pada arah utara-selatan.....	25
Gambar 2.13	Geometri kolektor pada arah timur-barat.....	26
Gambar 2.14	Proses Perpindahan Panas.....	30
Gambar 2.15	Proses Konduksi.....	30
Gambar 3.1	Kurva fungsi parabolik.....	28
Gambar 3.2	Panel konsentrator parabolik.....	29
Gambar 3.3	Pompa air.....	29
Gambar 3.4	Tangki fluida.....	30
Gambar 3.5	Termokopel screw in tipe K.....	30
Gambar 3.6	Flowmeter.....	31
Gambar 3.7	(a) weather instrument (b) console vantage pro 2.....	39
Gambar 3.8	Model Tahanan Termal.....	47
Gambar 4.1	Skema Pemasangan Termokopel.....	50
Gambar 4.1	Grafik Perbedaan Temperatur Menggunakan <i>Glasstube</i> Tanggal 13 Juni 2012.....	51
Gambar 4.2	Grafik Irradiasi Tanggal 13 Juni 2012.....	51
Gambar 4.3	Grafik Perbedaan Temperatur Tanpa Menggunakan <i>Glasstube</i> Tanggal 13 Juni 2012.....	52
Gambar 4.4	Grafik Irradiasi Tanggal 12 Juni 2012.....	53
Gambar 4.5	Grafik Efisiensi PTC.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis kolektor.....	16
Tabel 2.2	Konduktivitas Termal.....	31
Table 2.3	Kalor jenis	32



DAFTAR SIMBOL

A_c	: luas apertur panel kolektor (m^2)
A_e	: luas area efektif (m^2)
A_p	: luas area pipa (m^2)
C_g	: rasio konsentrasi ideal
C_p	: koefisien panas fluida (J/kgK)
d	: diameter pipa (m)
F_R	: faktor pemindahan panas kolektor (W/m^2K)
G_T	: iradian (W/m^2)
f	: faktor gesekan
g	: koefisien gravitasi ($9.81m/s^2$)
H	: head (m)
h_f	: hambatan fluida, head loss (m)
h_{fa}	: hambatan fluida, head loss aliran (m)
h_{fm}	: hambatan fluida, minor losses (m)
h_{fk}	: hambatan fluida, head losses kuadran (m)
h_{fp}	: hambatan fluida, head loss panel kolektor (m)
h_{fr}	: hambatan fluida, head loss rangkaian (m)
K	: faktor seri
K_f	: faktor minor losses
l	: panjang (m)
\dot{m}	: laju aliran massa (kg/s)
P	: daya (W)
p	: Tekanan (Pa)
T_a	: temperatur ambien (C)
\bar{T}_e	: temperatur absorber rata-rata (C)
T_i	: temperatur masuk (C)
T_{i2}	: temperatur inlet 2 (C)
T_o	: temperatur outlet (C)
T_{o1}	: temperatur outlet 1 (C)

- T_p : temperatur outlet paralel (C)
 T_s : temperatur outlet seri (C)
 U_i : kecepatan fluida inlet (m/s^2)
 U_o : kecepatan fluida awal (m/s^2)
 U_L : koefisien loss keseluruhan kolektor (W/m^2K)
 Q : debit fluida (m^3/s)
 Q_s : debit fluida sambungan (m^3/s)
 Q_u : performa panel kolektor (J)
 Q_{uN} : performa total panel kolektor (J)
 η : efisiensi (%)
 μ : viskositas dinamik (Ns/m^2)
 ε : kekasaran absolut pipa (mm)
 ρ : massa jenis (kg/m^3)
 $(\tau\alpha)$: transmitansi-absorptansi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Matahari terdiri dari lapisan-lapisan berupa gas yang sangat panas dengan diameter sekitar 1.39×10^9 m. Energi matahari yang mengenai planet bumi ini membutuhkan waktu 8 menit 20 detik setelah meninggalkan permukaan matahari atau sekitar 1.5×10^{11} m jauhnya. Matahari memiliki suatu temperatur *blackbody* efektif sebesar 5762 K. Temperatur pada bagian tengah matahari bervariasi yaitu sekitar 8×10^6 sampai 40×10^6 K. Pada hakekatnya, matahari merupakan reaktor fusi yang terus menerus di mana hidrogen diubah menjadi helium [1]. Total energi matahari yang dihasilkan adalah 3.8×10^{20} MW atau setara dengan 63 MW/m^2 pada permukaan matahari. Hanya sedikit, 1.7×10^{14} kW, radiasi total yang diterima bumi. walaupun demikian, diperkirakan bahwa selama 30 menit radiasi sinar matahari yang jatuh ke bumi akan setara dengan energi yang dibutuhkan dunia dalam 1 tahun.

Pada dasarnya, semua bentuk energi di dunia ini berasal dari energi matahari. Minyak, batu bara, *natural gas*, dan kayu awalnya terbentuk oleh proses fotosintesis yang dilanjutkan dengan reaksi kimia yang sangat kompleks di mana terdapat proses membusuknya tumbuh-tumbuhan ke temperatur dan tekanan yang tinggi dalam periode waktu yang lama. Bahkan, energi angin dan pasang berasal dari energi matahari juga karena disebabkan adanya perbedaan temperatur di berbagai daerah di bumi.

Keuntungan yang paling besar dalam pemanfaatan energi matahari dibandingkan dengan bentuk energi lainnya adalah energi matahari bersifat bersih dan bersifat terus-menerus tanpa adanya polusi terhadap lingkungan sedikitpun. Selama beberapa abad belakangan ini, energi fosil menyediakan hampir seluruh energi yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan energi fosil bersifat jauh lebih murah

dibandingkan energi alternatif lainnya, seperti energi matahari, sampai adanya sedikit kepedulian terhadap polusi dan pencemaran lingkungan.

Penelitian dan pengembangan di bidang sumber daya energi alternatif telah banyak dilakukan dalam kurun 2 dekade ini. sistem energi alternatif dapat memberikan dampak yang menguntungkan terhadap lingkungan, ekonomi dan isu-isu politik di dunia. Keuntungan dengan adanya instalasi dan pengoperasian sistem energi alternatif ini dapat dibedakan menjadi 3 kategori, yaitu penghematan energi, menumbuhkan lapangan pekerjaan dan mengurangi polusi lingkungan.

Penggunaan energi alternatif juga memberikan manfaat terhadap penghematan konsumsi listrik dan atau diesel yang secara konvensional digunakan untuk membangkitkan energi. Keuntungan ini juga dapat berdampak langsung terhadap pengurangan beban keuangan suatu negara terhadap impor bahan bakar fosil.

Faktor lain yang tidak kalah penting dalam penggunaan sistem energi alternatif adalah bertambahnya lapangan pekerjaan. Penetrasi dari inovasi teknologi mengarah terhadap adanya pengembangan suatu aktifitas produk baru yang berkontribusi dalam produksi, distribusi pasar dan operasi peralatannya. Terutama dalam kasus pembuatan *solar energy collector* yang berhubungan dengan konstruksi dan instalasi kolektor tersebut.

Keuntungan yang paling penting dalam sistem energi alternatif ini adalah pengurangan polusi lingkungan. Hal ini dicapai dari pengurangan emisi udara yang disebabkan oleh substitusi bahan bakar konvensional. Dampak terpenting dari polusi udara terhadap manusia dan lingkungan akan terlihat pada kesehatan umum, pertanian dan ekosistem.

Berdasarkan hal di atas, usaha untuk mengkonversi energi matahari sebagai sumber energi alternatif serta kepedulian terhadap pencemaran dan polusi lingkungan. Tugas akhir ini membahas tentang performa alat pengkonsentrasi radiasi sinar matahari untuk memanaskan fluida kerja berupa minyak sawit untuk

low temperature steam generation dengan penambahan tabung kaca berupa pipa *pyrex* sebagai efek rumah kaca dan mengurangi *heat loss* pada pipa absorber.

Eksperimental ini dilakukan bersama Sdr. Angga Pramukti yang berjudul “Pengaruh Arah *Parabolic Trough Collector* (PTC) Terhadap Efisiensinya” sehingga di dalam penulisannya terdapat beberapa paragraf yang sama dengan Sdr. Angga Pramukti.

1.2. Perumusan Masalah

Proses rekonstruksi dan pengujian panel *parabolic solar concentrator* yang menggunakan pipa absorber berupa pipa tembaga berdiameter 1 inch dan tabung kaca berupa pipa kaca *pyrex* yang berdiameter 3 inch.

Parabolic trough collector ini juga terdapat tiang panel yang dapat bergerak dalam koordinat x dan y sebagai *slider* sehingga dapat memaksimalkan pantulan sinar matahari terhadap pipa absorber.

Dalam percobaan ini akan didapatkan pengaruh dari penambahan tabung kaca dengan membandingkan antara pipa absorber yang tidak menggunakan tabung kaca dengan pipa absorber yang menggunakan tabung kaca. Manakah di antara keduanya yang lebih efisien?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik efisiensi dan *heat loss* dari penggunaan tabung kaca pada pipa absorber yang terdiri dari pipa tembaga yang berdiameter 1 inch dan pipa *pyrex* yang berdiameter 3 inch.

1.4. Pembatasan Masalah

Agar tidak keluar dari fokus pembahasan, pembahasan dalam skripsi ini dibatasi pada:

1. Satuan dalam penulisan skripsi menggunakan standar Satuan Internasional(SI),
2. Orientasi panel kolektor adalah timur-barat *tracking*,
3. Panel kolektor terdiri dari 2 buah yang disusun secara seri dan identik.

4. Perhitungan secara analitik mengambil data irradiasi dari alat sensor cuaca "*weather instrument*" buatan Davis Instrument.
5. Panel kolektor digunakan hanya untuk memanaskan fluida *palm oil* atau minyak goreng filma.
6. Pipa absorber terdiri dari pipa tembaga berdiameter 1 inch dan tabung kaca berdiameter 3 inch.
7. Sistem bersifat *steady state* semua properties zat bersifat konstan.

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Study literatur tentang energi surya dan *parabolic trough collector*.
2. Merekonstruksi panel *parabolic solar concentrator* dengan penambahan sistem slider pada tiang penyangga pipa absorber agar dapat bergerak dalam koordinat x dan y.
3. Melakukan kalibrasi pada termokopel sebagai alat ukur temperatur yang digunakan.
4. Memasang alat ukur yang sudah terkalibrasi ke dalam sistem yang dibangun.
5. Melakukan *running test* pada *parabolic solar concentrator*.
6. Analisa terhadap hasil *running test*.
7. Analisa proses perpindahan kalor dan *heat losses* pipa absorber *parabolic trough collector*.
8. Melakukan kesimpulan dan saran kedepannya untuk digunakan sebagai boiler pada *organic rankine cycle*.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut bab-bab sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

BAB I menjelaskan tentang latar belakang diadakannya penelitian dan dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah, tujuan penelitian,

pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang berbagai teori yang mendasari penelitian seperti radiasi panas matahari, dan teori mengenai *solar concentrator* yang mencakup pengaruh radiasi matahari terhadap performanya, teori perpindahan kalor, sistem instalasi dan teori pengujian. Tinjauan pustaka diambil dari beberapa sumber seperti jurnal, buku dan situs internet.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang konsep desain *parabolic solar concentrator* dan komponen-komponen yang dibutuhkan untuk instalasi serta perhitungan nilai karakteristiknya. Pada bagian ini juga menjelaskan instalasi pengujian dan data hasil pengujian.

4. BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada bab ini, selanjutnya dari hasil pengujian akan dilakukan perhitungan dan dianalisa dari aspek perpindahan kalor dan efisiensinya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian akhir dari penelitian ini adalah kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan apakah sistem berjalan sesuai hipotesis atau masih bisa ditingkatkan lagi performanya. Selanjutnya saran apa yang perlu dilakukan untuk meningkatkan performa dari sistem.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Radiasi Matahari

Matahari memiliki energi yang sangat besar. Energi ini diteruskan hingga ke permukaan bumi melalui perpindahan panas radiasi. Radiasi matahari terjadi akibat adanya gelombang elektromagnetik, yang memiliki karakteristik secara umum sama namun dibedakan dalam pengaruhnya, hal ini disebabkan karena perbedaan panjang gelombang masing-masing cahaya. Seluruh panjang gelombang pada daerah infrared, cahaya yang terlihat (visible light) dan salah satu bagian spectrum sinar ultraviolet merupakan daerah yang direferensikan sebagai radiasi panas, karena pada bagian ini spektrum elektromagnetik menghasilkan efek memanaskan. Radiasi panas terjadi pada spectrum cahaya dengan panjang gelombang $0,1 \times 10^{-6} \text{ m}$ s/d $100 \times 10^{-6} \text{ m}$.

Radiasi panas total yang mengenai permukaan dari seluruh arah dan seluruh sumber disebut irradiasi total atau irradiasi global (G) dengan satuan W/m^2 . Energi radiasi panas yang jatuh pada permukaan sebagian besar berasal dari absorpsi dan refleksi serta transmisi melalui benda transparan. Absorpsi merupakan transformasi energi dari energi radiasi ke dalam bentuk energi panas yang tersimpan dalam skala molekul benda. Refleksi merupakan peristiwa dipantulkannya radiasi yang jatuh pada permukaan benda tanpa perubahan frekuensi gelombang. Sedangkan transmisi merupakan radiasi yang melewati medium dari benda (biasanya transparan) tanpa terjadi perubahan frekuensi gelombang. Dengan demikian energi yang jatuh pada permukaan dapat dinyatakan sebagai :

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

α = absorptansi, fraksi dari radiasi termal yang diserap.

ρ = reflektansi, fraksi dari radiasi termal yang dipantulkan.

τ = transmittansi, fraksi dari radiasi termal yang diteruskan melewati medium benda.

Energi radiasi berasal pada permukaan atau bagian dalam medium benda karena adanya temperature dari material. Laju energi yang diemisikan dinyatakan dengan kekuatan emisif total (E). Besarnya nilai ini bergantung pada temperature system dan juga karakteristik material dari system. Beberapa permukaan memancarkan energi yang lebih besar daripada yang lainnya pada temperature yang sama. Satuan dari E adalah W/m^2 , dimana E adalah jumlah total energi yang dipancarkan ke lingkungan ke segala arah. Dengan demikian energi radiasi yang meninggalkan sebuah permukaan buram (opaque surface) ($\tau = 0$) berasal dari dua sumber yaitu : (1) energi yang dipancarkan dan (2) irradiasi yang dipantulkan.

Permukaan yang tidak memantulkan radiasi ($\rho = 0$) dinamakan benda hitam (blackbody), karena tidak memancarkan atau mentransmisikan radiasi, menyebabkan tidak ada radiasi yang terlihat oleh mata (spectrum gelombang) dan benda terlihat gelap / hitam. Benda hitam (blackbody) merupakan penyerap sempurna radiasi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penyerap sempurna (perfect absorber) radiasi juga merupakan pemancar yang sempurna (perfect emitter), sehingga pemancar sempurna radiasi dinamakan benda hitam juga. Sebuah pemancar benda hitam (black emitter), memberikan kekuatan emisi monokromatik maksimum pada panjang gelombang yang dinyatakan dengan:

$$\lambda_{max} = \frac{5215,6}{T} \text{ (microns)} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

T = temperature ($^{\circ}\text{R}$)

Persamaan diatas merupakan pergeseran Wien, dimana nilai maksimum radiasi yang dipancarkan berada pada sekitar λ_{max} . Semakin meningkat temperature, harga panjang gelombang maksimum semakin pendek, hal ini merupakan konsep dasar dalam aplikasi dimana benda-benda dengan temperature tinggi meradiasikan energi pada daerah panjang gelombang yang pendek sedangkan benda yang bertemperatur rendah memancarkan radiasi pada daerah panjang gelombang yang panjang. Matahari memiliki temperature permukaan sekitar 6000 K, memancarkan radiasi maksimum pada daerah panjang gelombang mampu lihat (visible range).

Pada kenyataannya benda hitam sangat jarang, untuk permukaan sebenarnya ditambahkan factor pengali berupa emitansi (ϵ), sehingga persamaan kekuatan emisif total (E) dapat ditulis :

$$E = \epsilon E_B \dots\dots\dots(2.3)$$

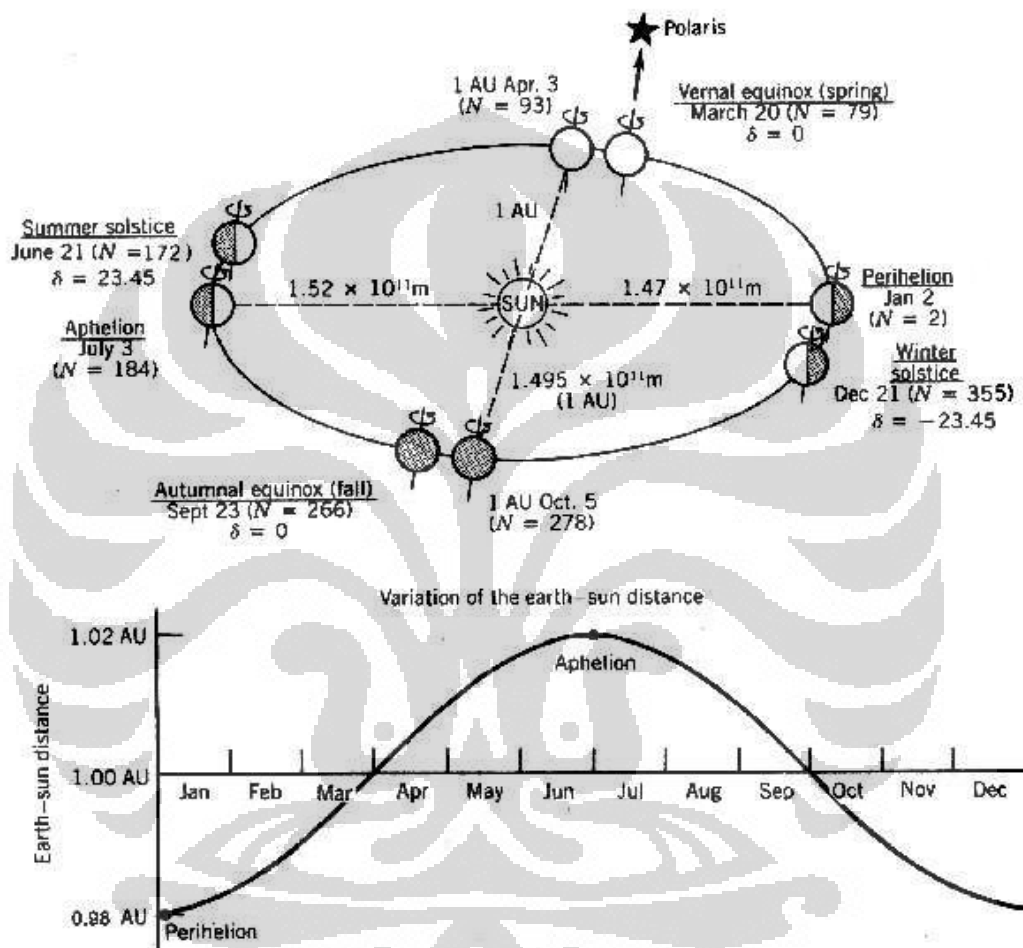
Nilai emitansi bervariasi menurut temperature permukaan benda, kondisi permukaan benda, tingkat kekotoran permukaan dan sebagainya.

2.2. Pergerakan Bumi terhadap Matahari

Gerakan bumi terhadap matahari mempunyai orbit yang mendekati bentuk elips, dengan satu putaran mengelilingi matahari memakan waktu $\pm 365 \frac{1}{4}$ hari. Jarak rata-rata dari pusat bumi ke pusat matahari berkisar $1,5 \times 10^8$ km. jarak perihelion merupakan jarak terdekat bumi dengan matahari yaitu jaraknya sekitar 98,3% dari jarak rata-rata bumi-matahari. Jarak perihelion terjadi pada tanggal 4 Januari. Jarak aphelion merupakan jarak terjauh bumi dengan matahari sekitar 101,7 % dari jarak rata-rata bumi-matahari. Jarak aphelion terjadi pada tanggal 5 Juli. Perbedaan jarak antara bumi dan matahari menyebabkan perbedaan besarnya radiasi yang diterima bumi.

Bumi juga berputar pada sumbunya dengan laju putaran setiap 24 jam / putaran. Sumbu rotasi dari bumi memiliki kemiringan 23,5 derajat terhadap

bidang orbitnya, sebagai hasil dari gerakan dan kemiringannya, posisi matahari di angkasa yang terlihat oleh pengamat di bumi bervariasi menurut lokasi pengamat pada permukaan bumi, waktu per hari dan setiap tahunnya. Untuk kepentingan praktis matahari yang terlihat kecil oleh pengamat bumi, dianggap sebagai titik sumber radiasi.



gambar 2.1 posisi bumi terhadap matahari (sumber:powerfromthesun.com)

Pada saat 21 Maret dan 22 September, matahari berada tepat di atas garis ekuator bumi dan kutub bumi berada pada jarak yang sama dari matahari. Equinox berarti seluruh tempat di bumi (kecuali kutub) memiliki waktu yang sama untuk saat siang hari dan saat malam hari, yaitu masing-masing 12 jam.

Saat 21 Juni, kutub Utara berada pada kemiringan 23,5 derajat terhadap matahari, seluruh tempat pada permukaan utara bumi yaitu 66,5 derajat lintang utara mengalami siang hari yang panjang. Sementara itu pada 66,5 derajat lintang

selatan mengalami malam hari yang panjang. Sisi utara relative lebih panas dibanding sisi selatan bumi.

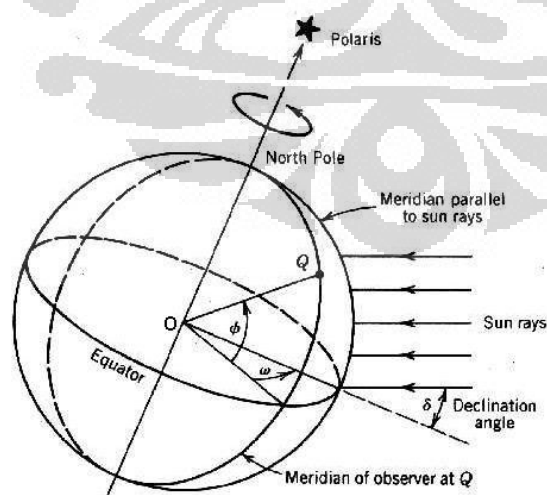
Selama musim panas (summer solstice), matahari berada di atas sepanjang garis tropic of cancer dan selama musim dingin (winter solstice), matahari berada di atas sepanjang garis tropic of Capricorn.

2.3. Sudut Matahari

Arah dari sinar matahari dapat digambarkan dengan tiga besaran fundamental yang diketahui, yaitu:

1. Lokasi pada muka bumi
2. Waktu dari hari
3. Hari dalam setahun

Hal ini sangat sesuai menyatakan besaran tersebut dalam lintang (ϕ), sudut waktu (ω) dan deklinasi matahari (δ). Gambar di bawah menyatakan titik Q pada permukaan utara bumi. Lintang (ϕ) merupakan sudut antara garis OQ dan proyeksi OQ pada bidang ekuatorial. Dengan demikian garis lintang (ϕ) merupakan sudut di pusat bumi pada bidang meridian yang melalui tempat tersebut dihitung dari ekuator. Ke utara positif dan ke selatan negative, dari 0° s/d 90° .



Gambar 2.2 lintang, sudut waktu dan deklinasi matahari

Sudut waktu (ω) merupakan sudut antara proyeksi Q pada bidang ektorial dan proyeksi di atas bidang tersebut dari sebuah garis pusat matahari ke pusat bumi. Lima belas derajat dari sudut waktu berkorespondensi dengan satu jam waktu. Untuk perhitungan, sudut waktu bernilai negative saat pagi hari (di bawah jam 12) dan bernilai positif setelah siang hari. Besar sudut waktu akan bernilai nol saat siang hari dimana matahari terbenam dan nilai minimum saat matahari terbit. Namun demikian besarnya sudut waktu setiap harinya adalah identik.

$$\omega = - \left[180 - \left(\left(\frac{\text{HourLST}}{24} \right) \times 360 + \left(\frac{\text{MinuteLST}}{24 \times 60} \right) \times 360 \right) \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

Deklinasi matahari (δ) merupakan sudut antara garis yang menghubungkan pusat matahari dan bumi dan proyeksi garis tersebut pada bidang ekuatorial. Besarnya deklinasi matahari oleh Spencer dinyatakan dalam derajat dengan persamaan:

$$\delta = 23,45 \times \sin \left(360 \cdot \frac{284+n}{365} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

n = hari dalam setahun ($1 < n < 365$)

Sudut ketinggian matahari atau altitude angle (α) merupakan sudut antara sinar matahari dan proyeksi sinar tersebut pada permukaan horizontal. Sudut ini menunjukkan posisi matahari di atas horizon. Besarnya sudut ketinggian ini dapat dicari dengan persamaan:

$$\text{Sin} \alpha = \text{Cos}(\phi) \cdot \text{Cos}(\omega) \cdot \text{Cos}(\delta) + \text{Sin}(\phi) \cdot \text{Sin}(\delta) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan

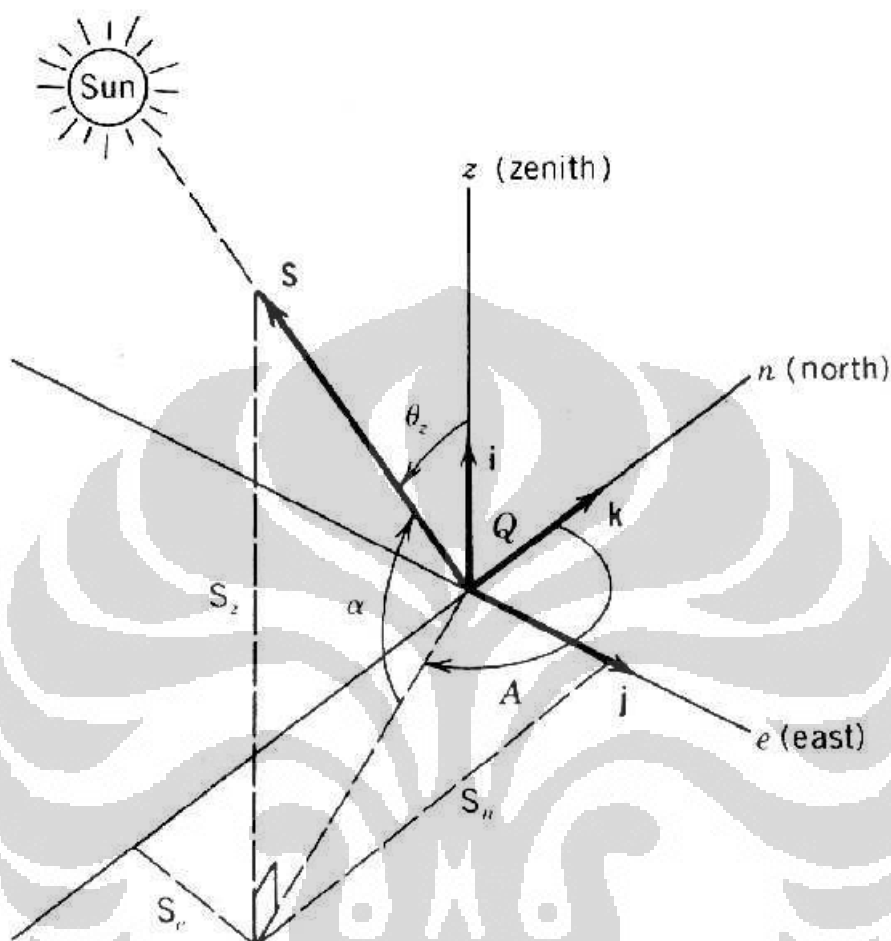
α = sudut ketinggian matahari

ϕ = sudut lintang bumi

ω = sudut waktu harian

δ = sudut deklinasi matahari

Keterangan sudut δ , ω , ϕ dapat dilihat pada gambar 2.2 dan sudut α dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 sudut ketinggian matahari

2.4. Irradiasi Matahari

Sinar matahari yang sampai ke bumi nilainya sangat bervariasi tergantung cuaca. Nilai radiasi yang konstan dapat diambil di luar atmosfer. Besarnya rata-rata konstanta radiasi matahari (G_{SC}) merupakan laju irradiasi pada permukaan normal terhadap sinar matahari di luar atmosfer bumi dan jarak rata-rata bumi-matahari. Nilai G_{SC} ini sekitar 1367 W/m^2 .

Radiasi maksimum berada pada panjang gelombang sekitar $0,48 \times 10^{-6} \text{ m}$ pada daerah hijau dari spectrum terlihat. Sekitar 40 % dari total energi yang dipancarkan oleh matahari terjadi pada daerah terlihat dari spectrum, berada

diantara $0,4 \div 0,7 \times 10^{-6}$ m, sekitar 51 % berada pada daerah infrared diantara $0,7 \div 3,5 \times 10^{-6}$ m, sedangkan 9 % berada pada daerah ultraviolet $0,4 \times 10^{-6}$ m.

Sebagian radiasi matahari yang masuk ke dalam atmosfer bumi di sebar dan diserap oleh gas, molekul uap air, awan dan partikel debu. Efek warna biru yang terlihat di angkasa merupakan salah satu hasil penyebaran beberapa panjang gelombang pendek pada spectrum cahaya terlihat. Sedangkan warna merah yang muncul pada saat matahari terbenam merupakan efek dari penyebaran panjang gelombang yang lebih panjang oleh partikel awan atau debu yang dekat bumi.

Direct radiation atau radiasi langsung merupakan salah satu bagian dari radiasi matahari yang tidak tersebar atau terserap oleh partikel-partikel yang ada di atmosfer sehingga mencapai permukaan bumi. Sedangkan radiasi yang berasal dari sebaran atau pancaran kembali benda-benda partikel yang ada di atmosfer bumi dinamakan radiasi sebaran (diffuse radiation). Sebagian kecil radiasi juga berasal dari radiasi pantulan benda-benda sekitar.

Irradiasi (intensitas radiasi) total G_t pada permukaan normal terhadap cahaya matahari terdiri dari irradiasi langsung (G_{nd}), irradiasi sebaran (G_d) dan irradiasi pantulan (G_r), dapat ditulis dengan persamaan:

$$G_t = G_{nd} + G_d + G_r \dots\dots\dots(2.7)$$

2.4.1 Irradiasi langsung

Harga konstanta radiasi matahari pada permukaan di luar atmosfer bumi merupakan jumlah radiasi yang tidak dipengaruhi oleh absorpsi ataupun penyebaran pada atmosfer bumi, hal ini sangat berpengaruh bahkan saat hari yang cerah. Harga radiasi langsung matahari pada permukaan bumi menurut permodelan ASHRAE dinyatakan dalam :

$$G_{nd} = \frac{A}{\exp(B/\sin\beta)} C_N \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

G_{nd} = Irradiasi langsung (W/m^2)

A = Irradiasi matahari apparent saat air mass sama dengan nol (W/m^2)

B = koefisien gelap terang atmosfer

β = ketinggian matahari

C_N = tingkat kecerahan

Nilai A dan B merupakan koefisien yang dapat dilihat pada banyak referensi. Harga C_N bervariasi antara 0 ÷ 1 tergantung tingkat kecerahan dan lokasi.

2.4.2 Irradiasi Sebaran

Irradiasi yang diterima di permukaan bumi sebagian merupakan sebaran dari irradiasi langsung yang ada di atas atmosfer. Setelah melewati atmosfer sinar menyebar dan memantul. Irradiasi sebaran (G_d) pada permukaan horizontal dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$G_d = (C)(G_{nd}) \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana C adalah factor pengali dimensionless yang dilihat pada table Machler dan Iqbal. Dengan demikian C adalah rasio antara irradiasi sebaran pada permukaan horizontal terhadap irradiasi langsung (G_{nd})

2.4.3 Irradiasi Pantulan

Selain irradiasi langsung dan irradiasi sebaran, dalam menghitung total irradiasi yang jatuh pada permukaan, irradiasi pantulan juga harus diperhitungkan. Irradiasi pantulan merupakan intensitas energi yang dipantulkan oleh permukaan dan benda sekitar. Besarnya radiasi ini dapat ditulis dengan persamaan:

$$G_r = G_{th} \rho_g F_{wg} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

G_r = Irradiasi pantulan (W/m^2)

G_{th} = Irradiasi total ($G_{nd}+G_d$) yang jatuh pada permukaan horizontal (W/m^2)

P_g = Reflektansi permukaan

F_{wg} = Faktor konfigurasi dinding ke permukaan, didefinisikan sebagai fraksi radiasi yang meninggalkan

permukaan dan mengenai permukaan horizontal.

Untuk permukaan atau dinding dengan sudut kemiringan (α) dituliskan :

$$F_{wg} = \frac{1-\cos\alpha}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Jadi irradiasi pantulan dipengaruhi oleh irradiasi total, sifat pantul/reflektifitas material permukaan tersebut.

2.5. Solar Collector

Kolektor energi surya adalah alat penukar kalor jenis khusus yang mengubah energi radiasi matahari ke internal energi. Komponen utama dari setiap sistem surya adalah kolektor surya. Ini adalah perangkat yang menyerap radiasi matahari yang masuk, mengubahnya menjadi panas, dan transfer panas ini ke cairan (biasanya udara, air, atau minyak) mengalir melalui kolektor. Energi matahari sehingga dikumpulkan dilakukan dari cairan yang beredar baik secara langsung dengan air panas atau peralatan ruang pendingin, atau ke energi termal dari tangki penyimpanan yang dapat ditarik untuk digunakan di malam hari atau hari yang berawan. Pada dasarnya ada dua jenis kolektor surya: nonconcentrating atau diam dan berkonsentrasi. Sebuah nonconcentrating kolektor memiliki luas yang sama untuk menahan dan untuk menyerap radiasi matahari, sedangkan sun-tracking kolektor surya berkonsentrasi biasanya menggunakan permukaan cermin cekung untuk menahan dan memfokuskan radiasi sinar matahari ke daerah

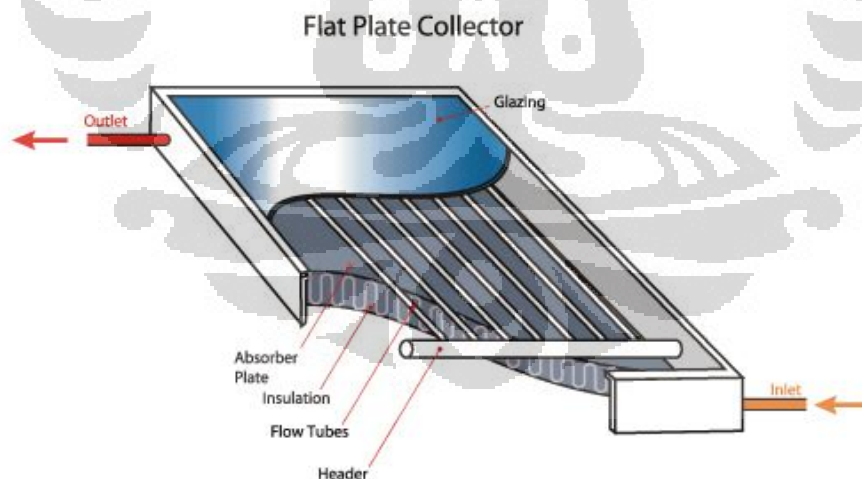
penerima yang lebih kecil, sehingga meningkatkan fluks radiasi.

Motion	Collector type	Absorber type	Concentration ratio	Indicative temperature range (°C)
Stationary	Flat plate collector (FPC)	Flat	1	30–80
	Evacuated tube collector (ETC)	Flat	1	50–200
	Compound parabolic collector (CPC)	Tubular	1–5	60–240
Single-axis tracking			5–15	60–300
	Linear Fresnel reflector (LFR)	Tubular	10–40	60–250
	Parabolic trough collector (PTC)	Tubular	15–45	60–300
	Cylindrical trough collector (CTC)	Tubular	10–50	60–300
Two-axes tracking	Parabolic dish reflector (PDR)	Point	100–1000	100–500
	Heliostat field collector (HFC)	Point	100–1500	150–2000

Tabel 2.1 jenis-jenis kolektor

2.5.1 Flate Plate collector

panel kolektor pelat datar adalah komponen terpenting dari system pemanas air tenaga surya. Energi termal dapat diteruskan melalui pelat tersebut menuju luida yang berada di dalamnya. Kolektor surya pelat datar dapat didesain untuk suatu aplikasi yang membutuhkan transfer energi pada suhu menengah sampai mencapai 100°C diatas temperature ambient. (Duffie&Beckman, 1982).



Gambar 2.4 flat plate collector

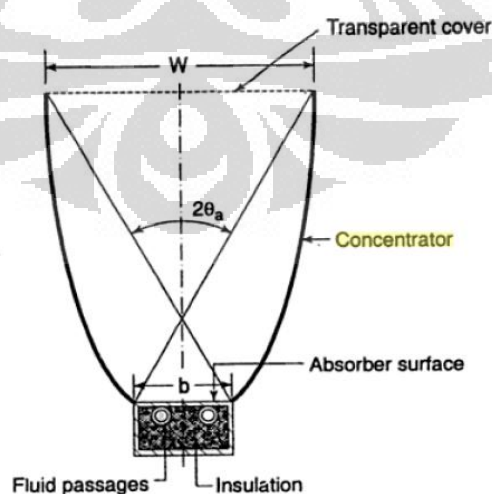
Komponen terpenting dari kolektor surya pelat datar adalah pelat datar penyerap (absorber) yaitu alat yang menerima radiasi energi matahari dan

mengubahnya menjadi energi apanas. Pelat tersebut mentransfer panas dihasilkan ke fluida kerja.

Radiasi matahari yang masuk ke dalam kolektor surya sebagian ada yang terserap pelat dan sebagian ada yang terpantul. Penggunaan kaca di atas pelat berfungsi agar radiasi yang telah masuk ke dalam kolektor yang kemudian terpantul, tidak langsung keluar dari system tetapi terpantul kembali oleh kaca. Penggunaan kaca ini mirip dengan fenomena efek rumah kaca. Solar aperture collector area adalah area maksimum yang diproyeksikan dari solar kolektor dimana sejumlah energi radiasi masuk.

2.5.2 Compound Parabolic Collector

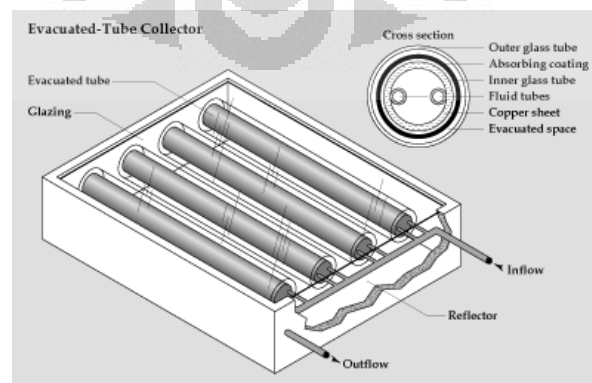
Compound parabolic collectors adalah kolektor surya jenis khusus yang dibuat dalam bentuk dua parabola pertemuan. Konsep kolektor berasal oleh Winston pada tahun 1978. Konsentrasi rasio dapat dicapai hingga 10 dalam mode non-pelacakan dengan mudah. Oleh karena itu mengarah pada penghematan biaya. Compound parabolic collectors adalah salah satu kolektor yang memiliki konsentrasi tertinggi diperbolehkan oleh batas termodinamika untuk sudut penerimaan yang diberikan. CPC umumnya digunakan untuk uap tekanan sedang, sekitar $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2.5 compound parabolic collector

2.5.3 Evacuated Tube Collector

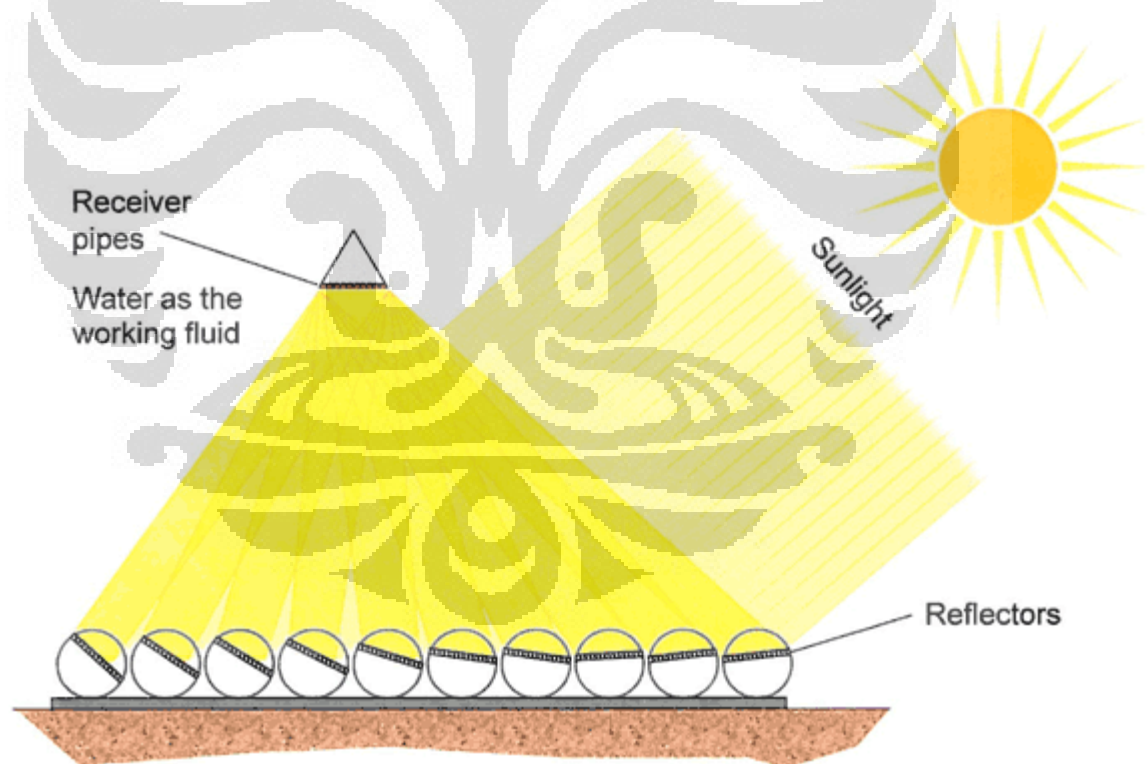
Evacuated tube collector terbuat dari suatu seri dari tabung-tabung modular, dipasang parallel, dengan jumlah yang dapat ditambahkan atau dikurangi saat kebutuhan akan pengiriman air panas berubah. Jenis dari kolektor ini terdiri dari baris parallel tabung kaca transparan, tiap tabung mengandung sebuah tabung penyerap (tempat dari plat penyerap dari tabung logam dipasang dalam sebuah kolektor plat datar). Tabung tersebut dilindungi dengan lapisan khusus modulasi cahaya. Pada kolektor ini, cahaya matahari masuk melalui tabung kaca terluar memanaskan tabung penyerap yang berada didalamnya. Dua jenis dari kolektor tabung dibedakan oleh cara (*heat transfer*) perpindahan panasnya; yang paling sederhana, memompa suatu fluida perpindahan panas (air) melalui tabung tembaga berbentuk U yang diletakkan dalam tiap kolektor tabung kaca. Jenis kedua menggunakan sekat pipa panas yang mengandung suatu cairan yang menguap saat dipanaskan; uap naik ke tabung perpindahan panas berbentuk bulat yang ditempatkan diluar kolektor tabung dalam sebuah pipa melewati suatu cairan perpindahan panas yang dipompakan. Untuk kedua jenis tersebut, cairan yang dipanaskan lalu bersirkulasi melalui suatu penukar panas dan memberikan panasnya pada air yang disimpan dalam tangki penyimpanan (yang dengan sendirinya sebagian tetap hangat oleh cahaya matahari). *Evacuated tube collector* memanaskan sampai temperatur tinggi dan beberapa model dapat meningkatkan penyerapan solar yang lebih banyak per meter persegi daripada panel datar. Bagaimanapun kolektor jenis ini lebih mahal dan mudah pecah daripada panel datar.



Gambar 2.6 evacuated tube collector

2.5.4 Linear Fresnel Collector

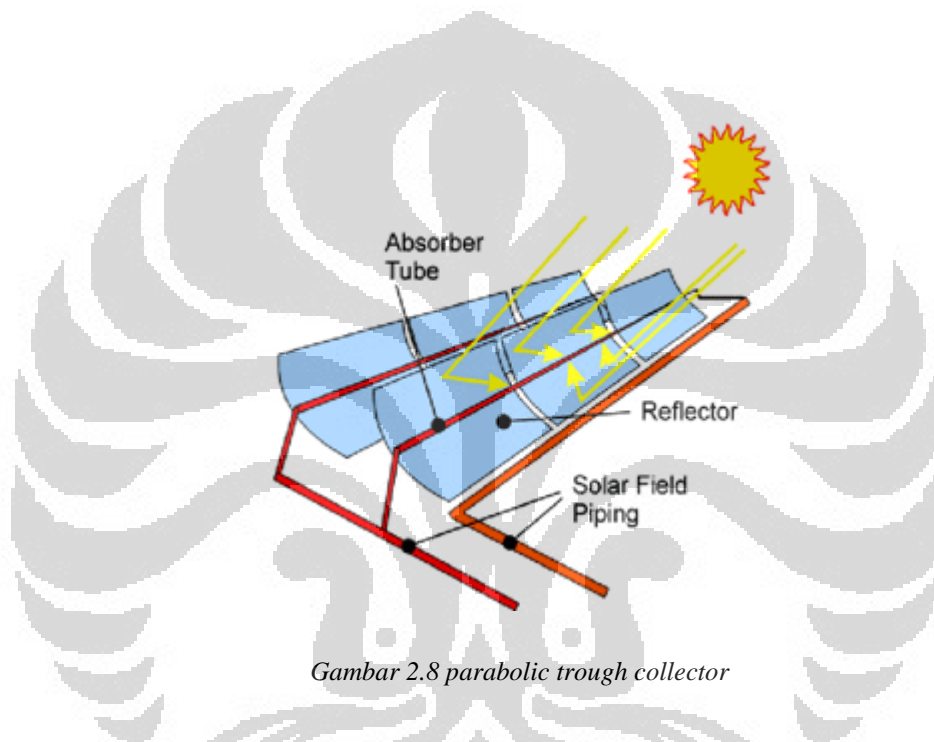
Sebuah Fresnel Linear Fresnel collector menggunakan serangkaian cermin yang panjang, dan memiliki kelengkungan dangkal (atau bahkan datar) untuk memfokuskan cahaya ke satu atau lebih penerima linier yang ditempatkan di atas cermin. Di atas ditambahkan receiver cermin parabola kecil untuk lebih memfokuskan cahaya. Sistem ini bertujuan untuk menawarkan biaya keseluruhan yang lebih rendah dengan berbagi penerima antara beberapa mirror (dibandingkan dengan konsep palung dan piring), sementara ini masih menggunakan geometri garis-fokus sederhana dengan satu sumbu untuk pelacakan. Hal ini mirip dengan desain palung (dan berbeda dari menara pusat dan hidangan dengan dual-axis). Posisi receiver adalah diam sehingga kopling cairan tidak diperlukan (seperti dalam palung dan hidangan). Cermin juga tidak perlu untuk mendukung receiver, sehingga mereka secara struktural sederhana.



Gambar 2.7 linear fresnel collector

2.5.5 Parabolic Trough Collector

Parabolic trough collector adalah jenis lain dari kolektor solar thermal. Jenis ini terdiri dari suatu seri dari *trough* seperti saluran talang air hujan dengan tabung kosong yang bergerak sepanjang kolektor tersebut. Cahaya matahari direfleksikan oleh cermin dan dikonsentrasikan pada tabung. Fluida perpindahan panas, pelumas dalam sistem Lup, mengalir melalui tabung untuk menyerap panas dari cahaya matahari yang dikonsentrasikan.

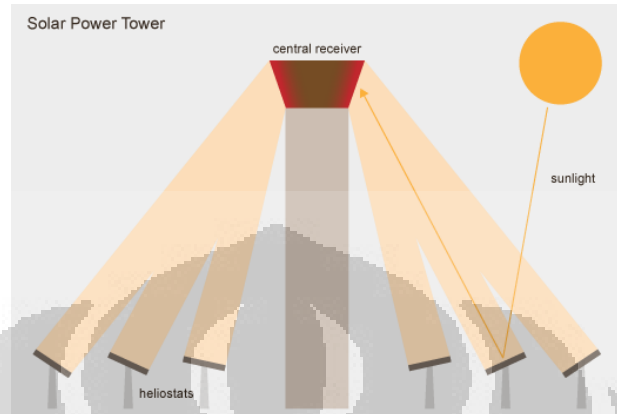


Gambar 2.8 parabolic trough collector

2.5.6 Heliostat Field Collector

Heliostat field collector menggunakan kumpulan (*array*) panel datar, cermin yang dapat digerakkan untuk memusatkan sinar matahari pada suatu menara kolektor. Energi tinggi pada titik dari cahaya matahari yang dikonsentrasikan ini dipindahkan ke sebuah substansi yang dapat menyimpan panas untuk selanjutnya digunakan. Material (substansi) perpindahan panas yang baru-baru telah berhasil didemonstrasikan adalah cairan sodium. Sodium adalah suatu logam dengan kapasitas panas tinggi, memberikan energi tersebut untuk disimpan dan dikeluarkan selama malam hari. Energi tersebut, pada gilirannya, akan digunakan untuk mendidihkan air untuk penggunaan dalam turbin uap. Air

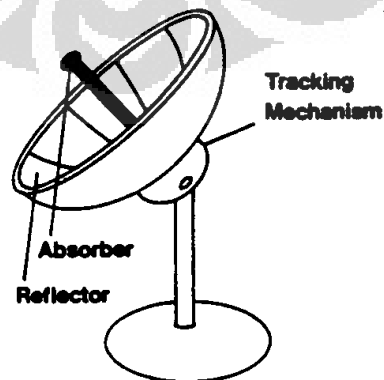
telah pertama kali digunakan sebagai suatu medium perpindahan panas dalam versi awal *power tower* (dimana uap resultan digunakan untuk menggerakkan turbin).



Gambar 2.9 heliostat field collector

2.5.7 Parabolic Dish Reflector

Parabolic dish reflector adalah seperti suatu pinggan (*dish*) satelit yang besar tetapi dengan permukaan bagian dalam terbuat dari material cermin. Cermin tersebut memusatkan seluruh energi matahari pada titik tunggal dan dapat mencapai temperatur yang sangat tinggi. Secara tipe, *dish* ini digabungkan dengan mesin Stirling dalam sebuah sistem Dish-Stirling (*Dish-Stirling System*), tetapi juga kadang mesin uap yang digunakan. Ini menciptakan energi kinetik rotasi yang dapat dikonversikan menjadi listrik menggunakan sebuah generator listrik.



Gambar 2.10 parabolic dish reflector

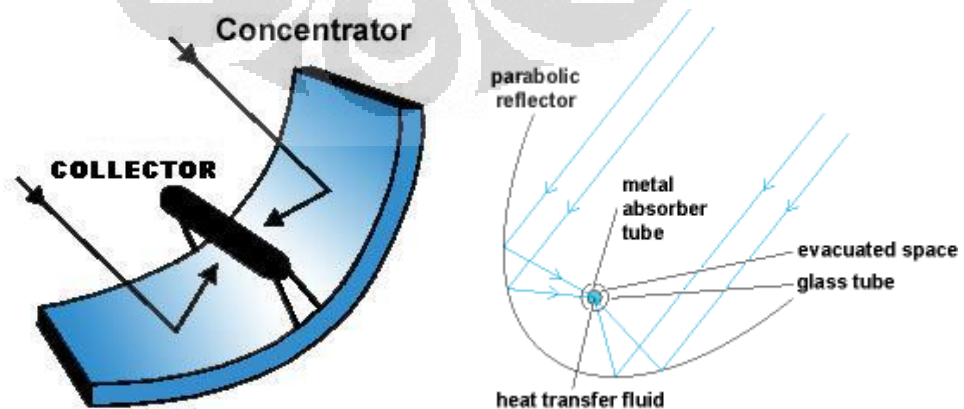
2.6. Pemanas Air Tenaga Surya (Solar water Heater)

Pemanas air tenaga surya atau solar water heater adalah alat pengumpul panas dari energi matahari yang digunakan untuk memanaskan air. Pemanas air ini menggunakan kolektor surya sebagai komponen utamanya. Menurut Duffie&Beckman pada bukunya “Solar Engineering Of Thermal Process”, 1982, kolektor surya adalah jenis alat penukar kalor yang mengubah energi radiasi menjadi panas. Menurut standard ASHRAE definisi kolektor surya adalah alat yang didesain untuk menyerap radiasi matahari dan mentransfer energi tersebut yang melaluinya.

Ditinjau dari jenis solar collector, pemanas air tenaga surya ini memiliki berbagai jenis antara lain flat plate collector, evacuated tube collector, dan concentrating collector. Untuk tipe concentrating collector yang biasa digunakan adalah jenis parabolic trough concentrator.

Tipe parabolic trough concentrator memiliki beberapa komponen antara lain :

1. Pipa penyerap (absorber)
2. Parabolic concentrator
3. Tangki penampung air
4. Pompa air
5. Pengatur sudut tracking



Gambar 2.11 komponen parabolic trough collector

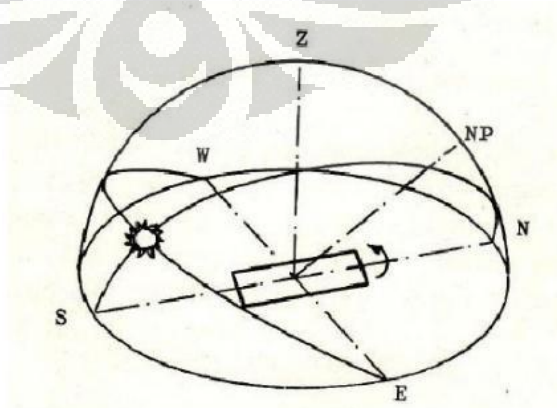
Komponen terpenting dari parabolic trough concentrator adalah concentrator dan pipa penyerap. Sinar matahari yang datang dari satu arah terdistribusi merata dipantulkan ke arah suatu garis fokal dimana pipa penyerap ditempatkan. Luas bidang pemantul/concentrator yang menerima sinar akan men-intensifkan sinar ke area yang lebih sempit (pipa penyerap). Dengan demikian temperature yang dibangkitkan dapat lebih tinggi daripada sinar langsung.

Pemanasan air terjadi di dalam pipa penyerap secara konveksi dari pipa ke air. Air ini mengalir sehingga terjadi proses pertukaran kalor. Panas ini yang berasal dari kumpulan (concentrating) sinar matahari yang dipantulkan oleh concentrator secara radiasi diteruskan ke pipa. Di dalam pipa sendiri panas mengalir secara konduksi. Temperature air yang dapat dibangkitkan parabolic through concentrator dapat mencapai 400°C sehingga banyak dimanfaatkan untuk steam generation pada pembangkit listrik maupun industry.

2.7. Arah Solar Kolektor

2.7.1 Utara-Selatan

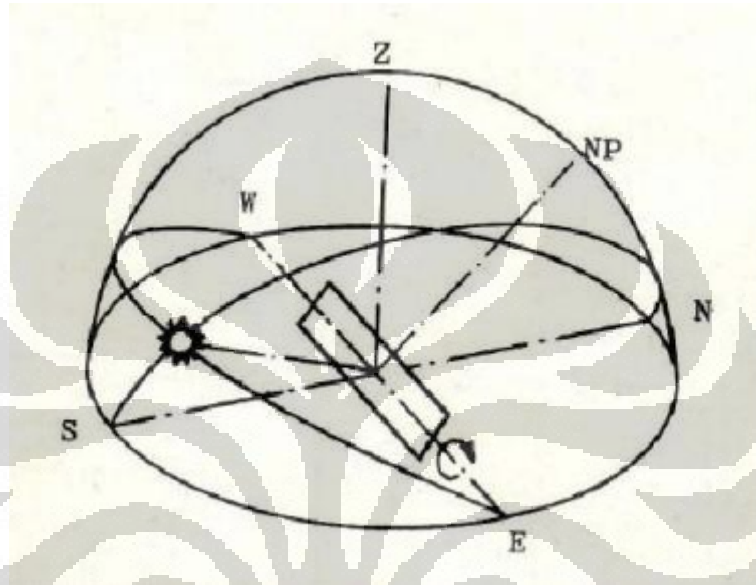
Geometri dasar untuk kolektor ditempatkan pada horizontal dengan sumbu rotasi dalam utara-selatan horizontal yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Sumbu horisontal dari kolektor bisa ditempatkan di azimuth apapun.



Gambar 2.12 Geometri kolektor pada arah utara-selatan

2. 7.2 Timur-Barat

Geometri dasar bagi kolektor dengan utara-selatan tracking pelacakan ditunjukkan pada gambar 2.13. Sumbu kolektor selalu dibuat horisontal dan pada arah timur-barat. Kolektor ini menerima proyeksi cosine pengurangan faktor harian dalam kinerja dengan optimasi musiman ketika hanya satu derajat pelacakan diperbolehkan.



Gambar 2.13 Geometri kolektor pada arah timur-barat

2. 8. Concentrating Ratio

Parabola merupakan kedudukan titik-titik dimana semua sinar yang datang parallel dipantulkan menuju satu titik yang dinamakan titik fokus. Secara matematis, parabola memiliki persamaan $y = x^2/4P$ dengan x, y sumbu koordinat dan P adalah titik fokus. Concentrating ratio (Cr) merupakan faktor penting dalam perhitungan solar concentrator. Secara teori peningkatan concentrating ratio meingkatkan performa dan efisiensi solar concentrator. Namun perlu diperhatikan bahwa hal ini membutuhkan keakuratan sudut tracking. Concentrating ratio dinyatakan dengan:

$$C_r = \frac{A_a}{A_r} \dots \dots \dots (2.12)$$

Bahwa untuk memperbesar concentrating ratio dapat dilakukan dengan memperluas bidang pemantul atau mempersempit bidang receiver. Dimana luas

penampang pipa absorber (A_r) adalah luas keseluruhan dari pipa yang menyerap pantulan sinar dari concentrator. Sedangkan luas aperture (A_a) adalah luas bidang datar dari parabola yang didapat dengan mengalikan panjang dengan lebar pandangan dari atas parabola. Jadi luas aperture bukan luas pelat sebelum ditekuk mengikuti bentuk kurva melainkan dengan mengikuti lebar kayu penopang.

2.9. Performa

Suatu mesin dapat dinilai kemampuannya dengan performa yang dihasilkan. Performa adalah kemampuan suatu mesin untuk melakukan kerja yang dinyatakan dalam bentuk energi atau daya yang dihasilkan. Performa concentrating collector yang beroperasi pada kondisi steady state dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$q_u = F_R A_a \left[I \eta_o - \frac{U_L}{C_r} (T_{fi} - T_a) \right] = \dot{m} c_p (T_{fo} - T_{fi}) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

q_u = energi berguna (Watt)

F_R = factor pelepas panas

A_a = luas apperture (m^2)

I = intensitas radiasi matahari (W/m^2)

η_o = efisiensi optic (concentrator)

U_L = koefisien kerugian panas total (W/m^2C)

T_{fi} = temperature fluida masuk ($^{\circ}C$)

T_{fo} = temperature fluida keluar ($^{\circ}C$)

T_a = temperature ambient ($^{\circ}C$)

\dot{m} = laju aliran massa fluida (Kg/s)

c_p = koefisien panas fluida (J/KgK)

2.9.1 Efisiensi termal kolektor

Efisiensi adalah perbandingan antara energi yang berguna dibandingkan terhadap energi yang digunakan atau diterima. Dalam hal parabolic trough collector, energi yang diterima adalah radiasi matahari pada luasan tertentu. Energi yang digunakan untuk menaikkan temperature fluida yang mengalir dengan debit tertentu.

Efisiensi termal dari collector dinyatakan dengan :

$$\eta = F_R \left[\eta_o - \frac{U_L}{IC_r} (T_{fi} - T_a) \right] = \frac{mc_p(T_{fo} - T_{fi})}{A_a I} \dots\dots\dots(2.14)$$

2.10. Kerugian Panas Keseluruhan (Overall Heat Loss)

Panas yang diberikan untuk memanaskan air tidak semuanya terpakai. Sebagian terbuang menjadi kerugian/loses. Kerugian panas ini timbul dengan tiga cara yaitu radiasi, konveksi terhadap udara luar, dan konduksi. Ketiganya dinyatakan dalam koefisien heat loss total dalam perhitungan koefisien overall heat loss coefficient U_L , dengan menganggap pipa absorber tanpa cove sebagai penerima pantulan sinar radiasi. Asumsikan tidak ada perbedaan temperature di sekitar pipa. Heat transfer coefficient karena konveksi (h_w), radiasi (h_r) dan konduksi (U_{cond}) pada struktur dinyatakan dengan:

$$U_L = h_w + h_r + U_{cond} \dots\dots\dots(2.15)$$

Koefisien konveksi akibat angin/udara

$$h_w = Nu \cdot k/d \dots\dots\dots(2.16)$$

Koefisien radiasi dihitung dengan

$$h_r = 4\sigma\epsilon T^3 \dots\dots\dots(2.17)$$

Persamaan koefisien heat loss total bias dinyatakan secara lengkap dengan :

$$U_L = \left[\frac{A_r}{(h_w + h_{r,c-a})A_c} + \frac{1}{h_{r,r-c}} \right]^{-1} \dots\dots\dots(2.18)$$

Sedangkan koefisien perpindahan panas total (U_o) didapat dengan menjumlahkan semua tahanan panas dari heat loss, konduksi pipa dan konveksi pemanasan fluida. Sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$U_o = \left(\frac{1}{U_L} + \frac{D_o}{h_{fi} \cdot D_i} + \frac{D_o \ln D_o / D_i}{2k} \right)^{-1} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan :

D_o = diameter luar pipa kolektor (m)

D_i = diameter dalam pipa kolektor (m)

h_{fi} = koefisien perpindahan panas konveksi fluida ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

k = koefisien perpindahan panas konduksi pipa ($W/m \cdot ^\circ C$)

2.11 Perpindahan Panas

Panas merupakan sesuatu yang tak dapat diukur atau diamati secara langsung, tetapi pengaruhnya dapat diamati atau diukur, sedangkan perpindahan adalah perpindahan sesuatu dari suatu posisi ke posisi yang lain. Menurut Frank P. Incropera, secara sederhana definisi perpindahan panas adalah perpindahan energi akibat perbedaan suhu [5]. Menurut Frank Kreith, perpindahan panas dapat di definisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah yang lain sebagai akibat dari adanya perbedaan suhu antara kedua daerah tersebut. Perpindahan panas itu dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu konduksi atau hantaran, konveksi atau aliran, dan radiasi atau pancaran .

2.11.1 Konduksi

Konduksi dapat terjadi karena adanya perambatan panas melalui kontak langsung antara partikel dari zat padat. Menurut Frank P. Incropera, secara sederhana konduksi dapat dinyatakan sebagai perpindahan energi dari partikel suatu zat yang memiliki energi lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah melalui interaksi antar molekul. Konduksi merupakan satu-satunya mekanisme yang panasnya dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus oleh cahaya. Persamaan perpindahan panas untuk aliran tetap.

$$Q = -kA \frac{dT}{dX} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

Q = Besar Panas [W]

A = Luas Penampang [m²]

k = Konduktivitas Termal [W/m.K]

dT/dX = Gradien temperatur [K/m]

Persamaan diatas (2.20) juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{x} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana :

Q = Besar Panas [W]

A = Luas Penampang [m²]

k = Konduktivitas Termal [W/m.K]

T₁, T₂ = Suhu dipermukaan berada pada Temperatur konstan [K]

X = Ketebalan Benda [m]

2.11.2 Konveksi

Konveksi adalah proses dimana kalor ditransfer dengan pergerakan molekul dari satu tempat ke tempat yang lain. Pada umumnya konveksi terjadi pada zat atau benda cair dan gas seperti udara dan air.

$$q = hA(T_w - T)(Watt) \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

A = Luas penampang [m²]

h = Koefisien konveksi [W/m²K]

T_w = Temperatur dinding [K]

T = Temperatur fluida [K]

2.11.3 Radiasi

Radiasi panas adalah perambatan panas melalui gelombang elektromagnetis. Disini transformasi energi terdiri sebagai berikut : energi panas dikonversikan menjadi energi radiasi kemudian dikonversikan menjadi energi panas. Benda hitam menyerap semua radiasi dan energi di bawah ini .

$$E_b = \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana :

E_b = rata-rata energi [W/m^2]

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$ = Ketetapan konstan Stefan Boltzmann

T = temperature absolute [K]

Hal ini dikenal sebagai Hukum Stefan Boltzmann. Intensitas radiasi energi pada benda hitam kepada permukaan normal.

$$I_n = \frac{E_b}{\pi} \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

dimana :

I_n = Intensitas [W/m^2]

Untuk penyerapan sempurna

$$\frac{Q}{A} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

dimana :

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$ = Ketetapan konstan Stefan Boltzmann

T = Temperatur [K]

A = luas [m^2]

2.11.4 Konduktivitas Termal

Konduktivitas Thermal adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu . Bahan yang mempunyai konduktivitas termal yang tinggi dinamakan konduktor, sedangkan bahan yang konduktivitas termalnya rendah disebut isolator. Konduktivitas thermal berubah dengan suhu, tetapi dalam banyak soal perkeyasaan perubahannya cukup kecil untuk diabaikan . Nilai angka konduktivitas thermal itu menunjukkan berapa cepat kalor mengalir dalam bahan tertentu . Semakin cepat molekul bergerak, makin cepat pula ia mengangkut energi . Jadi konduktivitas thermal bergantung pada suhu.

Tabel 2.2 Konduktivitas Thermal

Bahan	Konduktivitas (W/m °C)
Pyrex	1.04
Tembaga	385

Sumber : Perpindahan Kalor, J.P.hollman, 1997

2.11.5 Kalor Jenis

Kalor jenis didefinisikan sebagai banyaknya kalor yang diperlukan oleh 1 kg zat hingga suhunya naik 1°C. Jadi, besarnya kalor (Q) yang diserap benda adalah sebanding dengan massa benda (m), bergantung pada kalor jenis benda (c), dan sebanding dengan kenaikan suhu benda itu (Δt) . Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \dots\dots\dots(2.26)$$

keterangan :

Q = kalor, dalam joule [J]

m = massa benda, dalam [kg]

c = kalor jenis benda, dalam [J/Kg °C]

ΔT = perubahan suhu, dalam [°C]

Tabel 2.3 Kalor Jenis

Zat	Kalor Jenis	
	kal/kg °C	J/kg °C
Minyak sawit	494.41	2070
Udara	246.49	1032

Sumber : <http://www.chempro.in/palmoilproperties.html> dan tabel properties
incropera de witt

2.11.6 Kapasitas Kalor

Kapasitas kalor merupakan banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu zat sebesar 1 °C . Kapasitas kalor dinyatakan dengan :

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

$$C = m \cdot c \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan :

C = kapasitas kalor [J/°C]

Q = jumlah energi [J]

Δt = perubahan suhu [°C]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

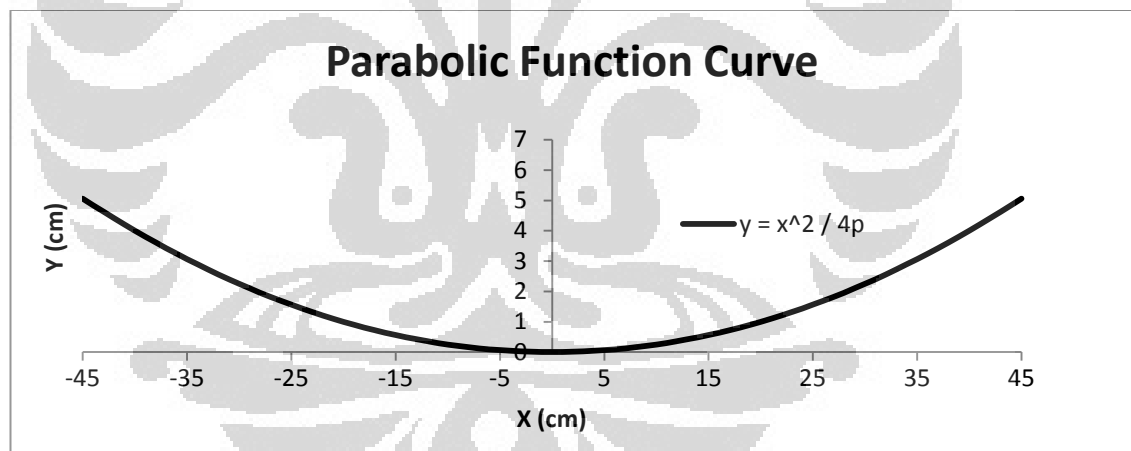
Solar concentrator yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah jenis kolektor parabola silinder atau dikenal dengan kolektor parabola linier yang digunakan untuk memanaskan fluida. Pada umumnya kolektor jenis ini terdiri atas komponen: (i) absorber (*absorber*) panas yang ditempatkan pada sumbu fokus pada parabola dimana fluida kerja mengalir didalamnya, (ii) tabung kaca atau *pyrex* yang berfungsi sebagai perluasan luas daerah tangkap dan efek rumah kaca terhadap absorber, (iii) *parabolic concentrator* yang berlapis aluminium steel.

Pada *solar concentrator* ini, digunakan absorber berupa pipa tembaga berdiameter 1 inch dengan tambahan tabung kaca berupa pipa yang terbuat dari kaca *pyrex* yang berdiameter 3 inch. Hal ini atas pertimbangan tabung kaca atau kaca *pyrex* berfungsi sebagai efek rumah kaca yang dapat meningkatkan dan atau menjaga temperatur pada dinding absorber konstan [3]. Adapun inovasi yang kami gunakan adalah dengan penambahan fungsi penyangga absorber yang dapat bergerak dalam koordinat X dan Y agar sinar pantulan matahari yang menyebar dapat difokuskan dengan memindahkan X dan Y.

Sebuah flowmeter dipasang pada aliran masuk rangkaian untuk menghitung besarnya debit fluida selama eksperimental dilakukan, untuk menghitung besarnya temperatur fluida kerja maka pada jalur masuk dan keluar tiap panel kolektor masing-masing dipasang sebuah termokopel dan setiap 30 cm pada absorber terdapat termokopel sebagai alat ukur temperatur dinding absorber. Pembacaan temperatur dilakukan dengan alat pembaca elektronik Autonics tipe T4WI. Besarnya radiasi matahari diukur dengan alat sensor cuaca kompleks yaitu weather instrument, data yang dipakai hanyalah data irradiasi.

3.1 konsentrator parabolik

Pada dasarnya tujuan dari bentuk konsentrator parabola adalah memusatkan cahaya pada suatu titik dengan mempertimbangkan aspek luasan aperture yang besar. Hal ini akan mengakibatkan terperangkapnya energy solar dan terjadi perubahan termal yang dinamakan efek rumah kaca [1]. Jarak titik dari absorber terhadap permukaan parabola secara tegak lurus disebut jarak fokal. Jarak garis fokal ini ditentukan oleh ukuran parabola. Program Ms. Excel digunakan untuk mencari grafik/posisi titik-titik pada parabola dengan menggunakan persamaan parabola $y = x^2/4P$ dengan x dan y sebagai posisi titik-titik pada sumbu x dan sumbu y . dan P adalah jarak titik fokus dan parabola. Karena jarak fokusnya dibuat 100 centimeter maka persamaan parabola pada sumbu koordinatnya menjadi $y = x^2/400$. Posisi titik-titik parabola pada koordinat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Kurva Fungsi Parabolik

Lebar penampang pemantut dari plat mirror 100 cm dan panjang 150 cm. luas aperture (A_a) adalah luas bidang datar dari parabola yang didapat dengan mengalikan panjang dengan lebar pandangan dari atas parabola. Jadi luas aperture bukan luas pelat sebelum ditekuk mengikuti bentuk kurva melainkan dengan mengikuti lebar kayu penopang yaitu 90 cm. sehingga luas aperture adalah $A_a = 1.5 \text{ m} \times 0.9 \text{ m} = 1.35 \text{ m}^2$.

3.2 Spesifikasi Komponen

3.2.1 Panel Konsentrator

Konsentrator parabolik memiliki 2 buah panel dan dirangkai seri. Absorber yang dipasang adalah absorber yang memiliki tabung kaca berupa kaca *pyrex* berdiameter 3 inch dan absorber berupa pipa tembaga dengan diameter 1 inch



Gambar 3.2 panel konsentrator parabolik

3.2.2 Pompa Fluida

Rangkaian yang dipakai merupakan sistem tertutup dimana fluida kerja atau minyak sawit disirkulasikan terus menerus selama eksperimental berlangsung sehingga membutuhkan pompa untuk mengalirkan fluida. Tipe pompa yang digunakan adalah Shimizu 130 BT dengan kapasitas maksimum 33 liter / menit dan daya 125 W karena dalam eksperimental ini hanya menggunakan aliran 400 mLPM maka pada pompa ditambahkan system bypass yang disirkulasikan lagi ke dalam tangki penyimpanan.



Gambar 3.3. pompa fluida

3.2.3 Tangki Fluida

Media penampung fluida kerja yang digunakan adalah ember berkapasitas 7 liter yang berbahan plastik. Pada eksperimental kali ini media penampung tidak digunakan sebagai penampung yang dapat menyimpan panas yang telah didapat oleh fluida kerja karena tangki fluida ini tidak diisolasi oleh material isolator.



Gambar 3.4 tangki fluida

3.2.4 Sensor Temperatur

Untuk mengukur temperatur yang telah dicapai selama eksperimental berlangsung, digunakan termokopel sebagai sensor temperatur yang dipasang pada inlet dan outlet panel kolektor. Total termokopel yang digunakan berjumlah 8 buah. Jenis termokopel yang digunakan adalah termokopel screw in tipe K dengan material junction nickel-chromium dan nickel-aluminum. Pembacaan temperatur menggunakan indikator temperatur Autonics digital tipe T4WI.



Gambar 3.5. termokopel screw in tipe K

3.2.5 Flowmeter

Pembacaan data debit aliran minyak sawit menggunakan flowmeter analog tidak bermerk dengan kapasitas aliran maksimum 1 LPM dan ketelitian pembacaan 0,05 LPM atau 50 mLPM. Flowmeter ini dipasang pada aliran masuk rangkaian.



Gambar 3.6. Flowmeter

3.2.6 Minyak Sawit

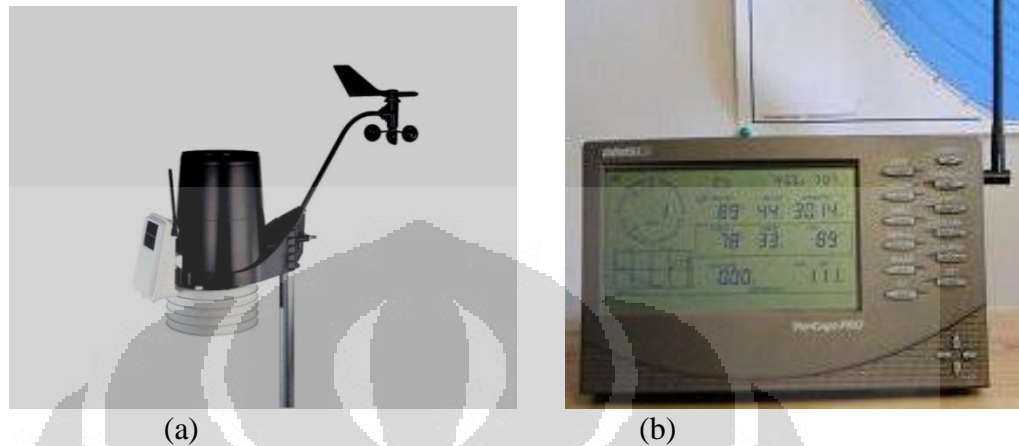
Pada percobaan ini, minyak sawit dipilih karena memiliki kapasitas panas yang kecil yaitu pada kisaran temperatur 20-100 °C kapasitas panasnya sekitar 1.8-2.0 KJ/Kg.°C [5]. Hal ini berarti dengan minyak sawit 1 kg dan kalor 2.0 KJ maka temperaturnya akan naik 1°C begitu pula untuk kebalikannya. Minyak sawit merupakan fluida yang cepat mengalami kenaikan dan penurunan temperatur dengan hanya kalor yang lebih rendah daripada fluida jenis lain.

3.2.7 Weather Instrument Davis

Weather Instrument Davis merupakan alat yang kompleks untuk mengukur parameter-parameter cuaca seperti temperatur, kelembaban udara, Irradiasi, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, chiller, UV, hujan, dll tergantung pada jenis alat dan consolenya.

Weather instrument yang dipakai untuk mengukur data irradiasi ini termasuk kompleks dan console jenis vantage pro plus 2. Pengambilan data dari weather instrument ini tergolong mudah karena secara otomatis

console akan mengupload data (harus memiliki koneksi internet) dan jika membutuhkan data tersebut, hanya download menggunakan software weather instrument yang tersedia.



Gambar 3.7 (a) weather instrument (b) console vantage pro 2

3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data merupakan proses eksperimental langsung peralatan uji dan mencatat parameter-parameter yang dibutuhkan seperti temperatur, irradiasi matahari dan debit aliran fluida kerja. Tempat eksperimental dilakukan pada lantai atas gedung Engineering Center FTUI. Proses pengambilan data dilakukan pada rentang waktu 5 jam setiap harinya, dengan interval waktu setiap 5 menit sekali. Sebelum pengambilan data pada awal eksperimental. Persiapan dan pengambilan data yang dilakukan dalam eksperimental adalah sebagai berikut:

1. Mengatur pembukaan dan penutupan katup sehingga menjadi rangkaian yang diinginkan.
2. Memastikan pemasangan kabel termokopel pada terminal dan indikator berfungsi dengan baik.
3. Periksa level ketinggian fluida pada tangki.
4. Mencatat angka awal flowmeter (sebelum pompa dijalankan)
5. Memeriksa pompa dan menjalankan pompa 15 menit sebelum data temperatur diambil.
6. Pengambilan data temperatur setiap 5 menit sekali.

3.3.1 Data Lokasi Tempat

Data lokasi tempat diutamakan untuk mengetahui posisi dimana eksperimental berlangsung terhadap garis lintang dan garis bujur bumi. Lokasi kota Depok berada pada -6.394058° LS dan 106.831557° BT (Sumber LanSat LAPAN).

3.3.2 Data Irradiasi

Irradiasi matahari merupakan intensitas cahaya matahari yang telah mengalami pemantulan jatuh pada suatu area, data irradiasi diukur dengan menggunakan alat ukur cuaca *weateherinstrument* yang dipasang di gedung S Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.3.3 Data Temperatur dan Debit Aliran

Pengambilan data temperatur dilakukan selama 5 jam setiap harinya antara jam 10 pagi hingga jam 3 sore dengan interval pengambilan data setiap 5 menit sekali, sedangkan data debit aliran fluida, 400 mLPM, dicatat pada awal dan akhir eksperimental. Untuk aliran fluida diatur pada debit aliran maksimum yang mampu dicapai pompa, dengan demikian posisi katup by-pass pengatur debit ditutup penuh.

Untuk kebutuhan pengolahan data yang mendekati nilai sebenarnya pada pembacaan temperatur dan sensor termokopel yang dipasang, dilakukan verifikasi termokopel dengan melakukan perbandingan terhadap termometer digital sebagai referensinya.

3.4 Perhitungan dan Pengolahan Data

Perhitungan dan pengolahan data didasarkan pada data-data hasil eksperimental berupa data irradiasi matahari, data temperatur dan debit aliran fluida. Perhitungan ini menggunakan asumsi berupa:

1. Kolektor yang digunakan adalah kolektor yang identik satu dengan lainnya.
2. Tidak terjadi kehilangan panas pada pipa/selang dan tangki fluida (dianggap insulasi sempurna).
3. Sudut jatuh dan irradiasi yang datang adalah normal terhadap kolektor.

3.4.1 Concentrating Ratio

Diketahui:

- Luas aperture setiap panel = 1.35 m^2
 - Luas permukaan absorber = $\pi \times D \times L$
= 0.12 m^2
- $$C_r = \frac{A_a}{A_r}$$
- $$C_r = 11.25$$

C_r pada absorber dengan fin memiliki C_r sebesar 4.73 dan semakin besar nilai C_r atau rasio konsentrasi maka performa kolektor semakin besar namun tidak mutlak[2]. Nilai C_r pada absorber tembaga berdiameter 1 inch ini lebih besar dari absorber dengan fin pada percobaan Yulianto sehingga performa kolektor dengan absorber tembaga dan tabung kaca ini lebih besar.

3.4.2 Kolektor Parabolik dengan Tabung kaca dan Tanpa Tabung kaca

Untuk menghitung nilai efisiensi dan rangkaian pada eksperimental, maka diperlukan data-data awal sebagai berikut:

- Nilai densitas fluida kerja pada temperatur rata-rata fluida kerja.
- Nilai panas spesifik fluida kerja (C_p).
- Nilai debit fluida kerja selama eksperimental.
- Data temperatur masuk dan temperatur keluar absorber.

- Data temperatur ambien.
- Data nilai irradiansi matahari
- Data luas plat absorber.

Contoh penghitungan rangkaian:

Diketahui:

- Densitas minyak sawit pada temperatur masuk selang waktu tertinggi 50-55 °C = 870.2 kg /m³.
- Panas spesifik minyak sawit (Cp) pada temperatur selang waktu tertinggi, 98 °C = 2070 J/ kg.K.
- Debit aliran rangkaian(Q)= 0.4 lpm, didapatkan $\dot{m} = 5,8 \times 10^{-3}$ kg/s
- Data temperatur masuk (T₁) 58 °C.
- Data temperatur keluar (T₉) = 98°C.
- Data temperatur ambien (T_a) = 31.1 °C
- Data irradiansi total (G_t) = 784 W / m² (data pada tanggal 13 Juni 2012 pukul 11.35 WIB)
- Luas pelat absorber (A_c) = 2 buah@(1.5 m x 0.9 m) = 2.7 m²

Untuk menghitung efisiensi kolektor dilakukan penghitungan awal kalor berguna yang diperoleh panel (Q_u).

Perhitungan:

$$Q_u = m c_p (T_9 - T_1)$$

$$Q_u = 5.8 \times 10^{-3} \times 2070 \times 40 = 480.24 \text{ W}$$

Selanjutnya dihitung radiasi yang diterima kolektor:

$$A_c G_T = 2.7 \times 784 = 2116.8 \text{ W}$$

Sehingga didapatkan efisiensi kolektor:

$$\eta_{col} = \frac{Q_u}{A_c G_T}$$

$$\eta_{col} = \frac{480.24}{2116.8} = 0.23$$

Berikut nilai efisiensi perbandingan pemakaian tabung kaca:

- Menggunakan tabung kaca

Date	Time	I (W/m ²)	dT (oC)	η
06/13/12	10:00	376.00	8	0.09
06/13/12	10:05	355.00	9	0.11
06/13/12	10:10	353.00	10	0.12
06/13/12	10:15	427.00	10	0.10
06/13/12	10:20	513.00	13	0.11
06/13/12	10:25	413.00	13	0.14
06/13/12	10:30	434.00	15	0.15
06/13/12	10:35	431.00	17	0.17
06/13/12	10:40	533.00	21	0.17
06/13/12	10:45	664.00	23	0.15
06/13/12	10:50	738.00	27	0.16
06/13/12	10:55	703.00	45	0.28
06/13/12	11:00	696.00	41	0.26
06/13/12	11:05	726.00	37	0.22
06/13/12	11:10	732.00	38	0.23
06/13/12	11:15	759.00	37	0.21
06/13/12	11:20	671.00	40	0.26
06/13/12	11:25	686.00	45	0.28
06/13/12	11:30	519.00	45	0.38
06/13/12	11:35	784.00	45	0.25
06/13/12	11:40	629.00	45	0.31
06/13/12	11:45	612.00	40	0.28
06/13/12	11:50	666.00	35	0.23
06/13/12	11:55	378.00	30	0.34
06/13/12	12:00	791.00	31	0.17
06/13/12	12:05	888.00	34	0.17
06/13/12	12:10	798.00	35	0.19
06/13/12	12:15	823.00	33	0.17
06/13/12	12:20	803.00	31	0.17

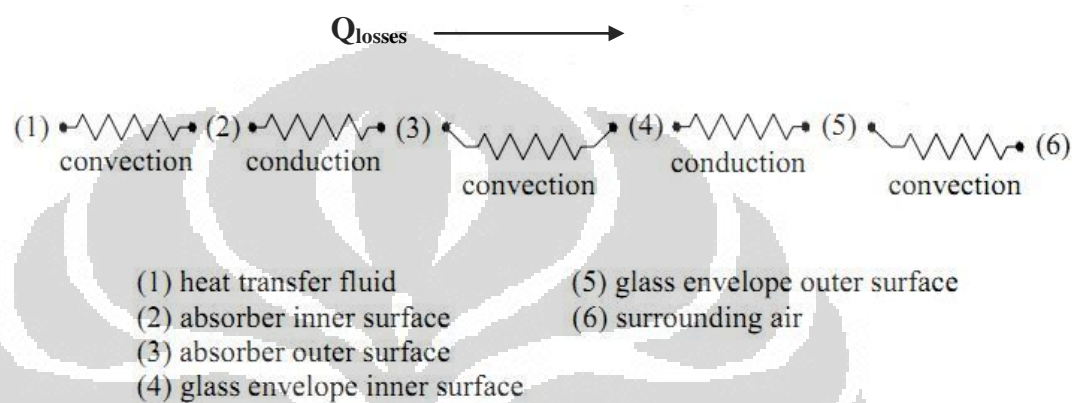
Date	Time	I (W/m ²)	dT (oC)	η
06/13/12	12:25	814.00	31	0.17
06/13/12	12:30	819.00	32	0.17
06/13/12	12:35	858.00	32	0.16
06/13/12	12:40	810.00	34	0.18
06/13/12	12:45	793.00	35	0.19
06/13/12	12:50	728.00	32	0.19
06/13/12	12:55	247.00	34	0.60
06/13/12	13:00	276.00	29	0.46
06/13/12	13:05	761.00	30	0.17
06/13/12	13:10	749.00	25	0.14
06/13/12	13:15	738.00	39	0.23
06/13/12	13:20	782.00	26	0.14
06/13/12	13:25	664.00	25	0.16
06/13/12	13:30	725.00	35	0.21
06/13/12	13:35	675.00	24	0.15
06/13/12	13:40	671.00	28	0.18
06/13/12	13:45	708.00	33	0.20
06/13/12	13:50	675.00	27	0.17
06/13/12	13:55	675.00	27	0.17
06/13/12	14:00	629.00	37	0.26
06/13/12	14:05	646.00	30	0.20
06/13/12	14:10	606.00	38	0.27
06/13/12	14:15	501.00	41	0.36
06/13/12	14:20	631.00	37	0.25
06/13/12	14:25	575.00	35	0.26
06/13/12	14:30	571.00	36	0.27
06/13/12	14:35	611.00	28	0.20
06/13/12	14:40	559.00	26	0.20
06/13/12	14:45	522.00	23	0.19
06/13/12	14:50	487.00	20	0.18
06/13/12	14:55	531.00	27	0.22
06/13/12	15:00	508.00	16	0.14

- Tanpa menggunakan gass tube

Date	Time	I.(W/m ²)	dT (oC)	η
06/12/12	10:00	564	11	0.08
06/12/12	10:05	587	15	0.11
06/12/12	10:10	548	15	0.12
06/12/12	10:15	362	13	0.16
06/12/12	10:20	362	8	0.10
06/12/12	10:25	603	5	0.04
06/12/12	10:30	443	2	0.02
06/12/12	10:35	671	4	0.03
06/12/12	10:40	647	1	0.01
06/12/12	10:45	676	4	0.03
06/12/12	10:50	323	4	0.05
06/12/12	10:55	796	6	0.03
06/12/12	11:00	814	6	0.03
06/12/12	11:05	789	5	0.03
06/12/12	11:10	812	12	0.06
06/12/12	11:15	823	7	0.04
06/12/12	11:20	803	3	0.02
06/12/12	11:25	826	15	0.08
06/12/12	11:30	847	10	0.05
06/12/12	11:35	847	10	0.05
06/12/12	11:40	849	3	0.02
06/12/12	11:45	777	2	0.01
06/12/12	11:50	338	2	0.03
06/12/12	11:55	287	2	0.03
06/12/12	12:00	802	1	0.01
06/12/12	12:05	243	7	0.12
06/12/12	12:10	288	46	
06/12/12	12:15	246		
06/12/12	12:20	782	12	0.07
Date	Time	I (W/m ²)	dT (°C)	η
06/12/12	12:25	763	13	0.07
06/12/12	12:30	738	14	0.08
06/12/12	12:35	759	14	0.08
06/12/12	12:40	766	11	0.06
06/12/12	12:45	754	17	0.10
06/12/12	12:50	756	11	0.06
06/12/12	12:55	742	11	0.06

06/12/12	13:00	726	11	0.07
06/12/12	13:05	758	14	0.08
06/12/12	13:10	717	13	0.08
06/12/12	13:15	594	10	0.07
06/12/12	13:20	262	8	0.13
06/12/12	13:25	281	3	0.05
06/12/12	13:30	251	3	0.05
06/12/12	13:35	297	5	0.07
06/12/12	13:40	248	2	0.03
06/12/12	13:45	163	4	0.11
06/12/12	13:50	199	5	0.11
06/12/12	13:55	278	4	0.06
06/12/12	14:00	278	3	0.05
06/12/12	14:05	563	4	0.03
06/12/12	14:10	568	11	0.08
06/12/12	14:15	568	14	0.11
06/12/12	14:20	540	13	0.10
06/12/12	14:25	515	16	0.13
06/12/12	14:30	454	12	0.11
06/12/12	14:35	443	12	0.12
06/12/12	14:40	306	7	0.10
06/12/12	14:45	373	3	0.03
06/12/12	14:50	193	2	0.04
06/12/12	14:55	134	3	0.10
06/12/12	15:00	120	3	0.11

3.4.2 Performa Absorber Dengan Tabung kaca dan Tanpa Tabung kaca



Gambar 3.8 Model tahanan termal

Eksperimental dilakukan dengan absorber dengan dan tanpa tabung kaca. Untuk tahanan termal yang memakai tabung kaca memiliki 5 tahanan termal yaitu R_1 , R_2 , R_3 , R_4 dan R_5 dimana seperti pada gambar 3.8 dimana Dimana R_1 adalah tahanan termal dari minyak ke pipa tembaga ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$), h_{oil} adalah koefisien konveksi panas pada minyak ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$), r_1 adalah jari-jari pipa bagian dalam (m), L adalah panjang pipa (m), R_2 adalah tahanan termal konduktivitas pipa tembaga ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$), r_2 adalah jari-jari pusat ke pipa tembaga bagian luar (m), h_{udara} adalah koefisien konveksi dari udara ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$), R_3 adalah tahanan termal antara pipa tembaga ke tabung kaca bagian dalam ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$), r_3 adalah jari-jari dari pusat ke tabung kaca bagian dalam (m), K_{pyrex} adalah konduktivitas termal dari tabung kaca ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$), R_4 adalah tahanan termal tabung kaca ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$), R_5 adalah tahanan termal konveksi dari tabung kaca bagian luar ke udara lingkungan ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) dan R_3' adalah tahanan termal konveksi dari pipa

tembaga bagian luar ke udara lingkungan pada absorber tanpa tabung kaca ($W/m^{\circ}C$).

Analisa diawali melihat data geometri pada absorber dan tabung kaca sebagai berikut:

- Diameter pipa tembaga = 2.54 cm
- Diameter tabung kaca = 7.62 cm
- Tebal absorber = 1 mm
- Tebal tabung kaca = 2 mm
- Panjang 2 absorber @1,5 m = 3 m
- Koefisien konveksi udara (h_{ud}) = 0.0407 $W/m^{\circ}C$
- Konduktivitas tembaga (K_{temb}) = 385 $W/m^{\circ}C$
- Konduktivitas pirex (K_{pir}) = 1.04 $W/m^{\circ}C$
- Temperatur minyak sawit = 98 $^{\circ}C$
- Panas specific minyak sawit (C_p) = 2070 $KJ/kg^{\circ}C$
- Densitas minyak sawit = 870.2 kg/m^3
- Koefisien konveksi minyak sawit (h_{oil}) = 0.1664 $W/m^{\circ}C$

Dari data di atas didapat,

Data	Notasi	Nilai
Tahanan Termal 1	R1	27.26 oC/W
Tahanan Termal 2	R2	$1.13 \times 10^{-5} oC/W$
Tahanan Termal 3	R3	108.38 oC/W
Tahanan Termal 4	R4	$2.75 \times 10^{-3} oC/W$
Tahanan Termal 5	R5	102.69 oC/W
Tahanan Termal 3'	R3'	102.69 oC/W

Kalor lepas dihitung berdasarkan data yang didapat setiap jamnya.

Absorber dengan **tabung kaca**,

Date	Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
06/13/12	10:00	34	41	42	(40)	(37)	43	44	46	(42)

- Kalor serap

$$Q_{in1}=0.047 \text{ W dan } Q_{in2}=0.053 \text{ W}$$

- Kalor lepas

$$Q_{\text{loss1}}=0.017 \text{ W dan } Q_{\text{loss2}}=0.023 \text{ W}$$

Berikut merupakan data berdasarkan perhitungan si atas,

Date	Time	Data	Notasi	Nilai
06/13/2012	10.00	Kalor serap	Q_{in}	0.1 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.04 W
06/13/2012	11.00	Kalor serap	Q_{in}	0.27 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.023 W
06/13/2012	12.00	Kalor serap	Q_{in}	0.234 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.08 W
06/13/2012	13.00	Kalor serap	Q_{in}	0.147 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.023 W
06/13/2012	14.00	Kalor serap	Q_{in}	0.22 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.076 W
06/13/2012	15.00	Kalor serap	Q_{in}	0.14 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.047 W

Absorber tanpa tabung kaca.

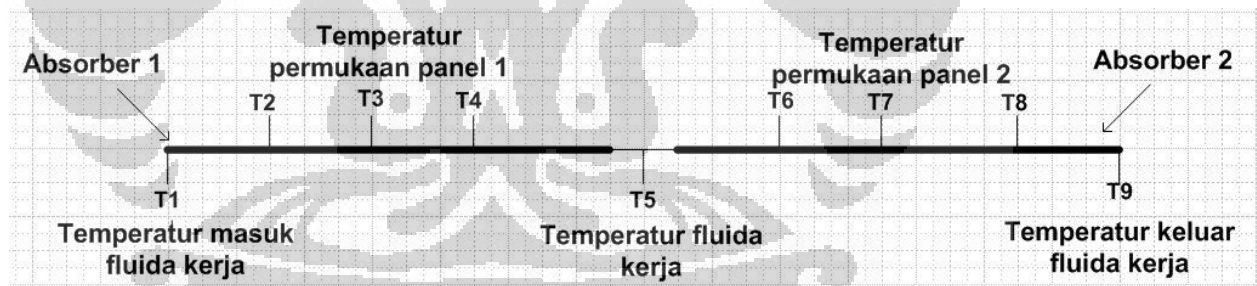
Date	Time	Data	Notasi	Nilai
06/12/2012	10.00	Kalor serap	Q_{in}	0.16 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.061 W
06/12/2012	11.00	Kalor serap	Q_{in}	0.061 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.023 W
06/12/2012	12.00	Kalor serap	Q_{in}	0.069 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.046 W
06/12/2012	13.00	Kalor serap	Q_{in}	0.169 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.084 W
06/12/2012	14.00	Kalor serap	Q_{in}	0.054 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.069 W
06/12/2012	15.00	Kalor serap	Q_{in}	0.023 W
		kalor lepas	Q_{loss}	0.046 W

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Berdasarkan penjelasan pada BAB III, pada percobaan ini dilakukan perbandingan efisiensi penggunaan tabung kaca, berupa pipa pyrex berdiameter 3 inch, pada absorber untuk mendapatkan hasil yang optimal. pengambilan data dilakukan pada siang hari pada pukul 10.00 sampai dengan pukul 15.00 dengan selang waktu pengambilan data selama 5 menit sekali. Pada setiap pengambilan data digunakan beberapa alat ukur yaitu display thermometer untuk mengukur temperature fluida kerja dan permukaan absorber serta weather instrument untuk mengukur data irradiansi, temperature ambient dan humidity lingkungan.

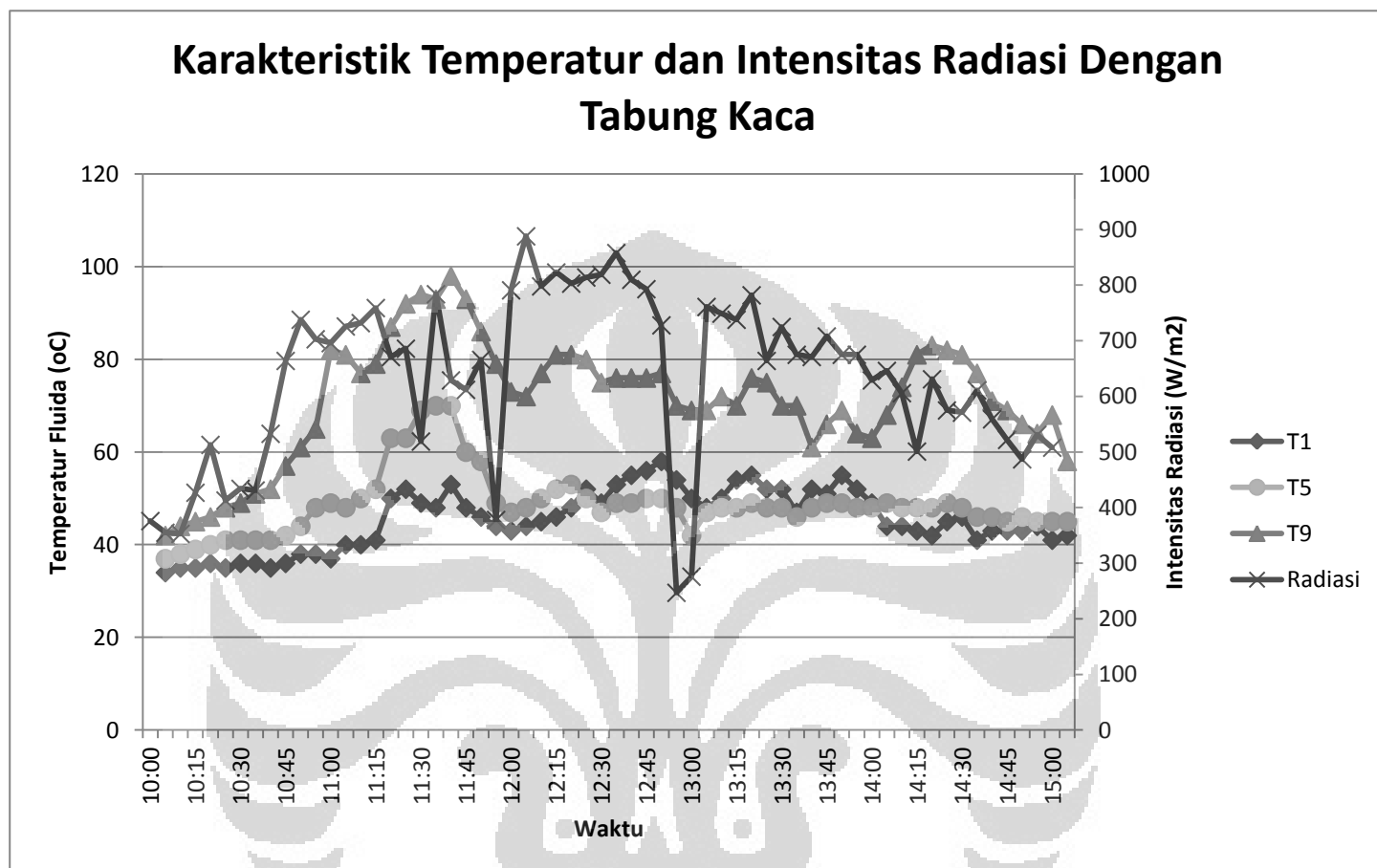
Pengambilan data temperatur ada 9 titik yang terdiri dari pengukuran temperatur fluida kerja berupa minyak sawit yaitu T1, T5 dan T9 serta untuk mengukur temperatur dinding absorber yaitu T2, T3, T4 untuk panel 1 dan T6, T7, T8 untuk panel 2. Berikut merupakan skema pemasangan termokopel.



Gambar 4.1 Skema Pemasangan Termokopel

4.1 Hasil Pengujian dan Analisa

4.1.1 karakteristik Temperatur dan Intensitas Radiasi Tanggal 13 Juni 2012 Dengan Adanya Tabung kaca

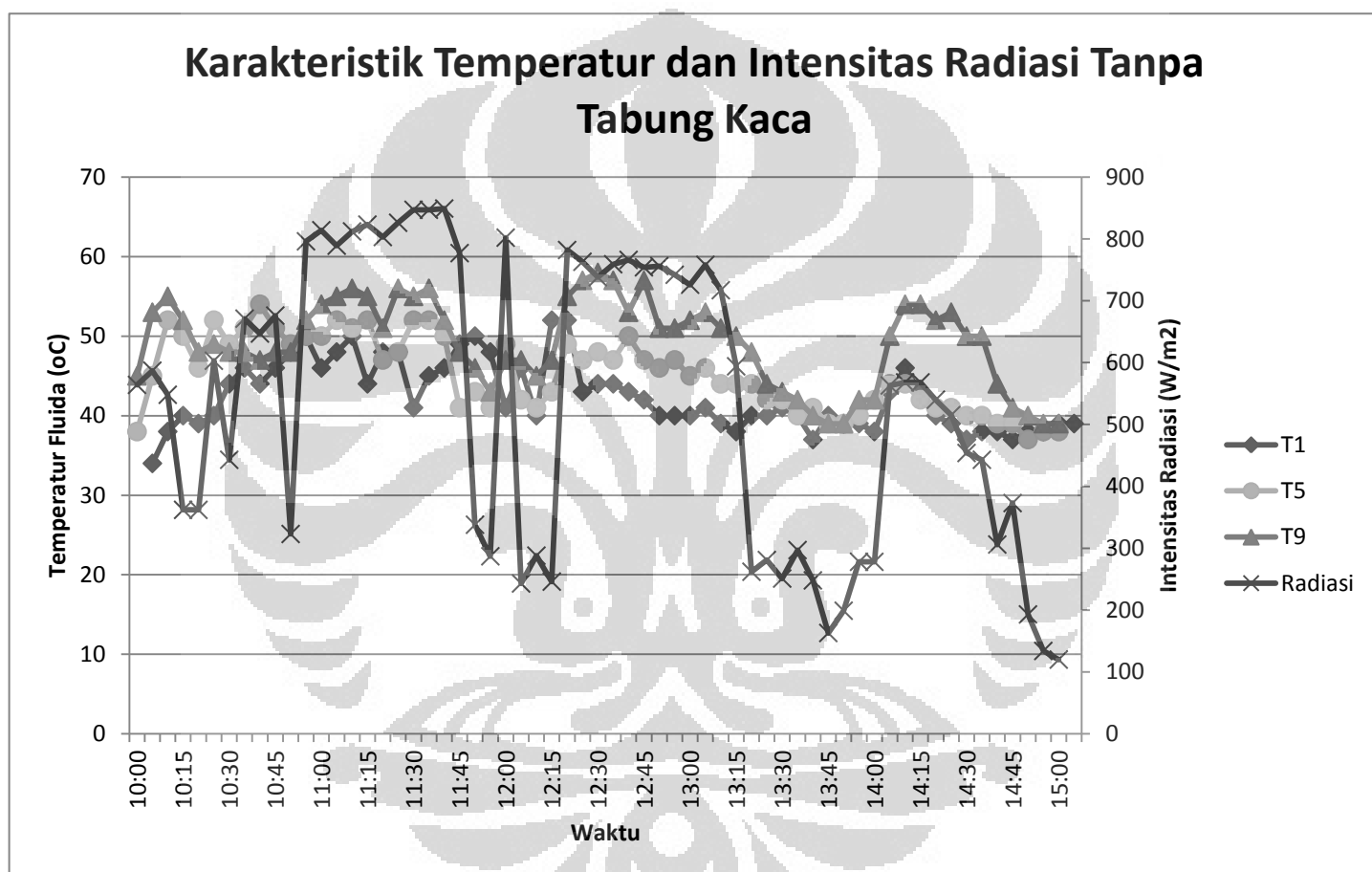


Gambar 4.2 Grafik Karakteristik Temperatur Dan Intensitas Radiasi Dengan Menggunakan Tabung Kaca Tanggal 13 Juni 2012

Pada gambar 4.2 terdapat kesamaan bentuk atau pola grafik tersebut, ketika intensitas radiasi semakin besar maka semakin besar pula perbedaan temperatur antara T_1 , T_5 dan T_9 . Hal ini menunjukkan bahwa faktor pengaruh irradiansi atau radiasi diffuse yang dipantulkan oleh panel kolektor pada absorber yang dilewati oleh fluida kerja berupa minyak sawit menyebabkan kenaikan temperatur fluida kerja yang sebanding dengan jumlah irradiansi yang dipantulkan oleh panel sehingga semakin banyak jumlah irradiansi yang mengenai panel solar kolektor maka akan semakin banyak pula energi solar yang diubah menjadi energi panas [1].

Gambar 4.2 juga memiliki *trendline* yang relatif stabil. Hal ini disebabkan karena absorber pada panel tersebut menggunakan tabung kaca atau kaca *pyrex* berdiameter 3 inch. Tabung kaca ini berfungsi melindungi absorber degradasi dan mengurangi *heat losses* [4].

4.1.2 karakteristik Perbedaan Temperatur dan Radiasi Tanpa Adanya Tabung kaca

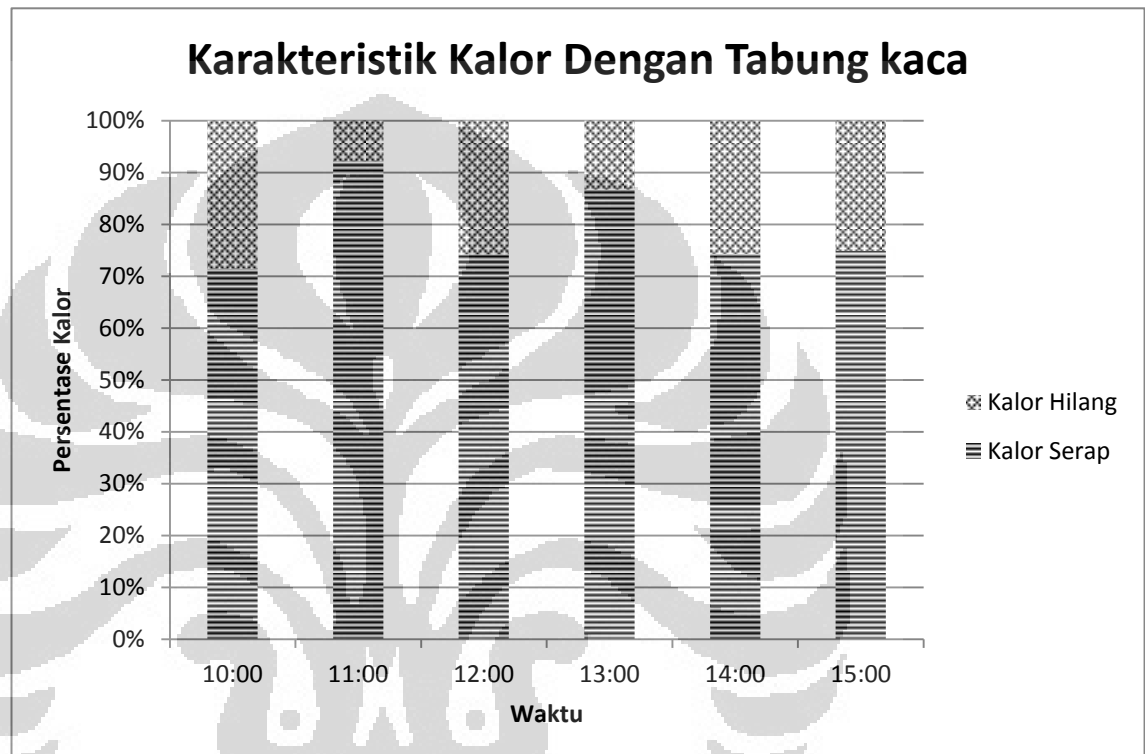


Gambar 4.3 Grafik Karakteristik Temperatur Dan Intensitas Radiasi Tanpa Menggunakan Tabung Kaca Tanggal 12 Juni 2012

Pada gambar 4.3 terdapat kesamaan bentuk atau pola grafik tersebut, hal ini pula menunjukkan bahwa faktor pengaruh irradiansi atau radiasi diffuse seperti pada gambar 4.2 di atas.

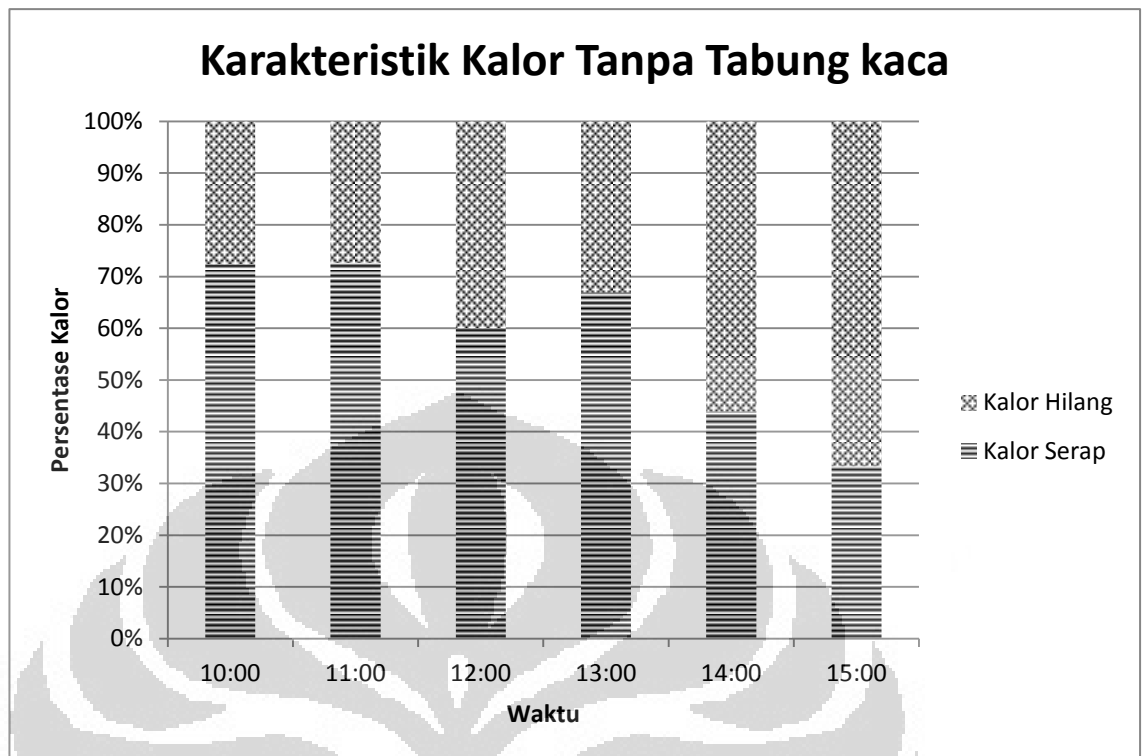
Gambar 4.2 memiliki garis yang relatif tidak stabil. Hal ini disebabkan karena absorber pada panel tersebut tidak menggunakan tabung kaca atau kaca *pyrex*.

4.1.3 Kalor Serap dan Kalor Hilang



Gambar 4.4 Grafik karakteristik kalor dengan tabung kaca

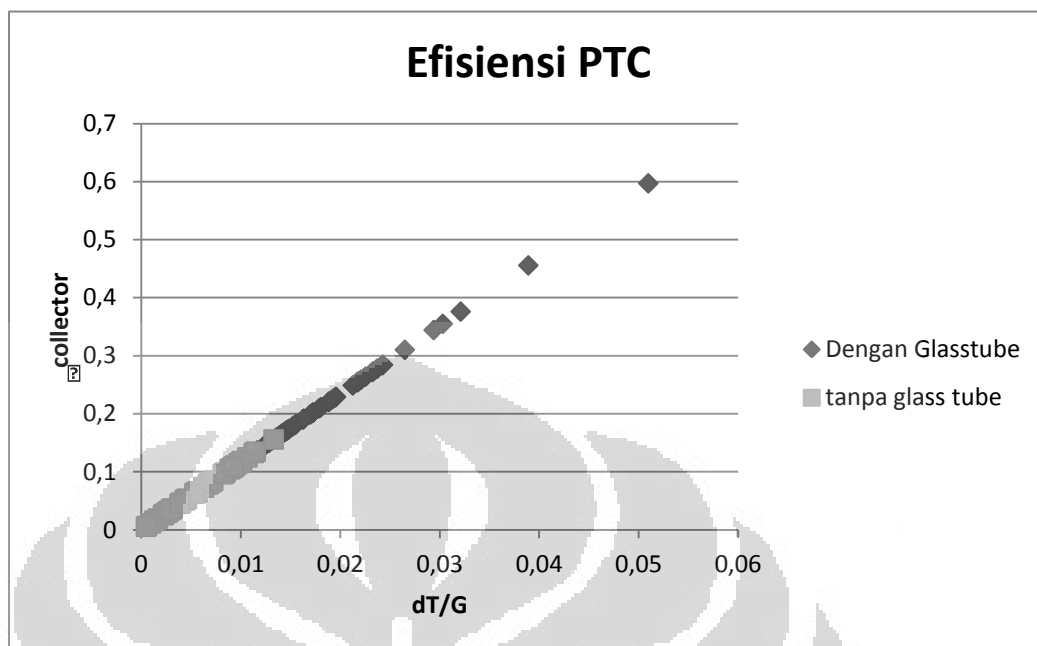
Karakteristik kalor di atas merupakan hasil dari absorber dengan menggunakan tabung kaca. Grafik di atas menunjukkan bahwa kalor hilang atau *heat loss* absorber ini kecil yaitu rata-rata 20 %. Hal ini karena absorber dilapisi tabung kaca yang bersifat menahan termal. Tahanan termal untuk absorber ini, berdasarkan perhitungan, adalah $169,87 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$.



Gambar 4.5 Grafik karakteristik kalor tanpa tabung kaca

Karakteristik kalor tanpa tabung kaca sedikit berbeda dengan yang menggunakan tabung kaca. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4.7 yang menunjukkan bahwa kalor hilang atau *heat loss* pada absorber tersebut lebih besar, yaitu rata-ratanya sekitar 42%. Pada perhitungan bab3 pun tahanan termal pada absorber ini lebih kecil dari pada absorber dengan glass tube, yaitu sebesar $129.95 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$

4.1.4 Karakteristik Efisiensi



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi PTC

Gambar di atas merupakan gambaran dari efisiensi PTC pada eksperimental yang dilakukan. Efisiensi akan bertambah tinggi jika penyerapan intensitas radiasi oleh fluida kerja semakin besar. Pada gambar 4.6 juga efisiensi kolektor untuk kedua absorber sama hanya yang membedakan keduanya adalah penyerapan intensitas radiasi terhadap fluida kerja dan *heat loss* yang terjadi.

Pada gambar 4.6 di atas terlihat bahwa efisiensi kolektor yang menggunakan tabung kaca, tabung pyrex, memiliki efisiensi lebih tinggi daripada absorber yang tidak menggunakan tabung kaca. Hal ini disebabkan karena *heat losses* pada PTC yang menggunakan tabung kaca jauh lebih kecil daripada *heat losses* pada absorber yang tidak menggunakan tabung kaca.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

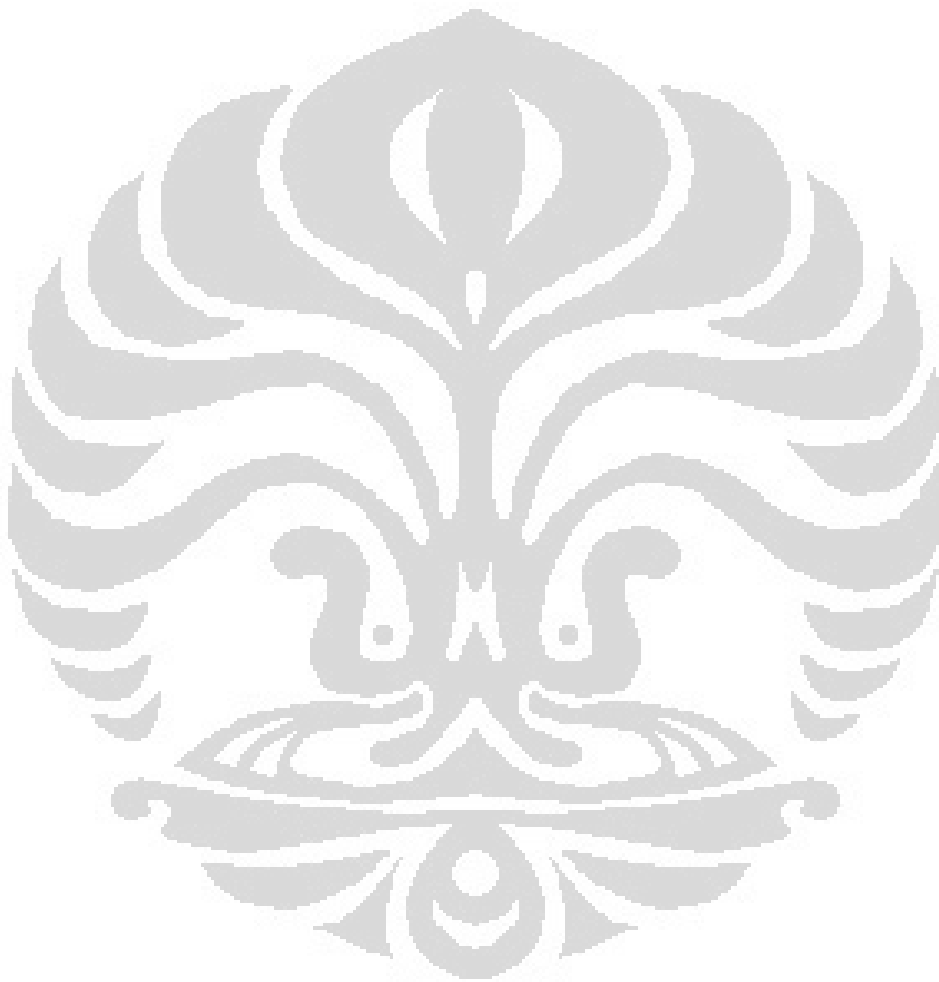
Berdasarkan pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan tabung kaca pada absorber. Maka didapatkan:

1. *Heat loss* pada absorber yang menggunakan tabung kaca lebih kecil dari pada *heat loss* pada absorber yang tidak menggunakan tabung kaca, yaitu rata-rata 20% dan 42% dan tahanan termal keduanya pun berimbang yaitu $169.87 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ dan $129.95 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$.
2. Temperatur fluida pada PTC yang menggunakan tabung kaca pun lebih tinggi dan stabil daripada PTC yang tidak menggunakan tabung kaca.
3. PTC yang menggunakan tabung kaca lebih efisien dibandingkan dengan PTC yang tidak menggunakan tabung kaca. Hal ini karena tabung kaca berfungsi sebagai efek rumah kaca bagi absorber dan mengurangi *heat losses*.
4. Irradiasi matahari sangat mempengaruhi besarnya temperatur pada PTC. Hal ini terlihat dari samanya pola grafik irradiasi dengan perubahan temperature (dT) fluida PTC.

5.2 Saran

1. Menggunakan termokopel khusus permukaan untuk mengukur temperatur permukaan agar pengukuran lebih akurat.
2. Kabel pada terminal termokopel tidak boleh terlalu panjang karena akan mempengaruhi tegangan sehingga pembacaan temperatur tidak akurat.

3. Menggunakan pompa yang memiliki head yang sesuai dengan konfigurasi PTC sehingga tidak merusak kinerja motor pompa.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, Edward E. 1983, *Fundamentals of Solar Energy Conversion*, USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] Purnama, Yulianto. 2006, *Perancangan dan Pengujian Parabolic Solar Concentrator*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [3] Beckman, William A. dan John A. Duffie. 1980, *Solar Engineering of Thermal Processes*, USA : Willey Interscience.
- [4] Forristal, R. 2003, *Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver*, Colorado: National Renewable Energy laboratory.
- [5] Incopera, Frank P. dan David P. Dewitt. 2002, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Fifth Edition*, Singapore: John Wiley & Sons Pte. Ltd.

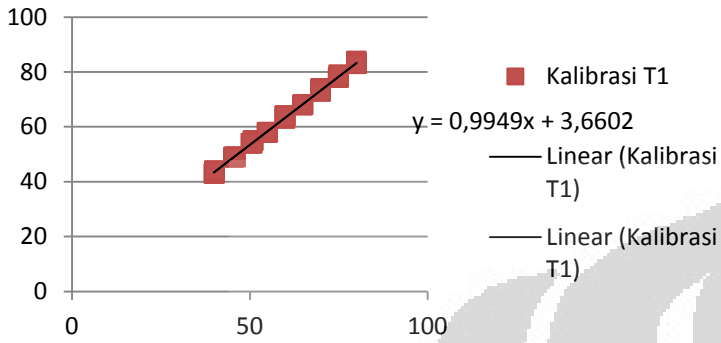
LAMPIRAN

	To	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
40	39.9	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	40	43	42	43	43	43	43	43	44	43
	40.1	43	43	43	43	43	44	43	44	44
	40.1	44	43	43	43	44	44	43	44	43
	40.1	44	43	43	43	44	44	43	44	44
45	46	49	49	49	49	50	50	49	50	49
	45.9	49	49	49	49	50	50	49	50	49
	45.6	49	49	49	49	49	49	49	49	50
	45.4	49	49	49	49	49	49	49	49	49
	45.5	49	49	49	48	49	49	49	49	50
50	50.3	54	54	54	54	55	55	54	55	54
	50.7	54	54	54	54	55	55	54	55	55
	50.9	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	51	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	50.6	54	54	54	54	55	55	54	55	54
55	54.9	58	58	58	58	59	59	58	58	59
	54.9	58	58	58	58	59	59	58	58	58
	54.9	58	58	58	58	59	59	58	58	58
	55	58	58	58	58	59	59	58	58	59
	55	58	58	58	58	59	59	58	58	58
60	59.9	63	64	63	63	64	63	64	64	63
	59.9	64	64	64	63	64	63	64	64	63
	59.9	64	64	65	63	64	64	64	63	63
	59.9	64	64	65	63	63	63	63	63	64

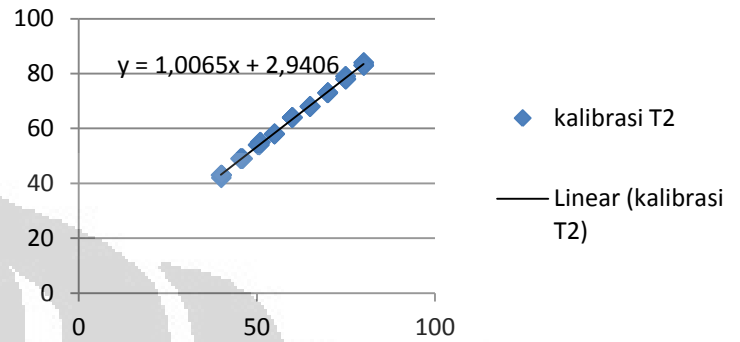
	60	64	64	64	64	63	64	63	63	63
65	65	68	68	69	68	68	68	68	69	68
	64.9	68	68	68	68	68	68	69	69	68
	64.9	68	68	69	68	68	69	69	69	68
	64.9	68	68	69	68	69	69	68	68	68
	64.9	68	68	69	68	69	68	68	68	68
70	69.9	73	73	73	73	73	73	73	73	73
	69.9	74	73	73	73	73	73	73	73	73
	69.9	73	73	74	73	73	74	73	73	74
	69.9	73	73	73	73	73	73	73	73	73
	69.9	73	73	74	74	73	74	73	73	73
75	74.9	78	78	78	79	78	78	79	78	78
	74.9	78	79	78	78	78	78	78	78	79
	74.9	78	79	78	78	78	79	78	78	78
	74.9	78	78	78	79	79	78	79	78	79
	75	79	78	78	78	78	78	78	79	79
80	80	84	83	84	83	83	84	83	83	84
	80	83	84	83	84	83	84	83	83	84
	80	83	84	84	83	83	83	84	84	83
	80	83	83	83	84	83	83	83	83	83
	80	83	83	83	83	83	84	84	84	84

Data kalibrasi

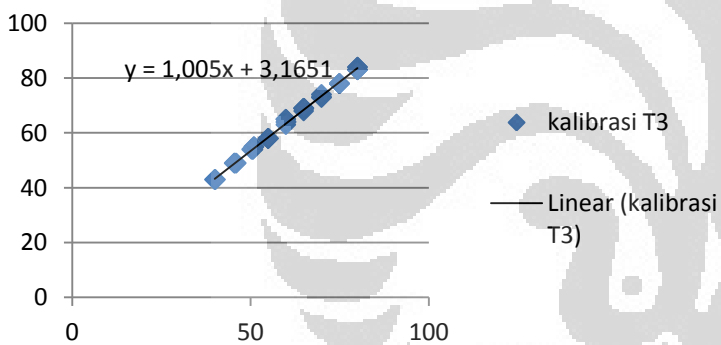
Kalibrasi T1



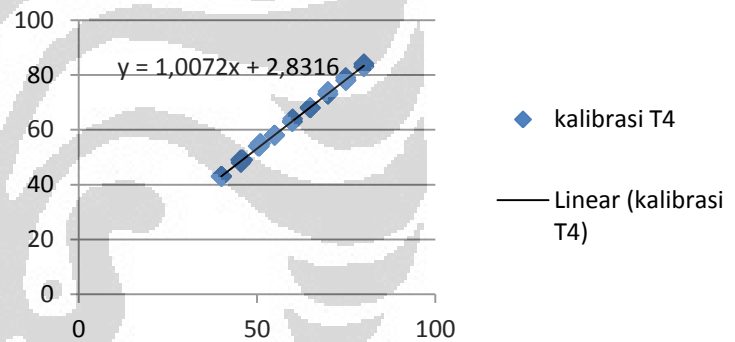
kalibrasi T2



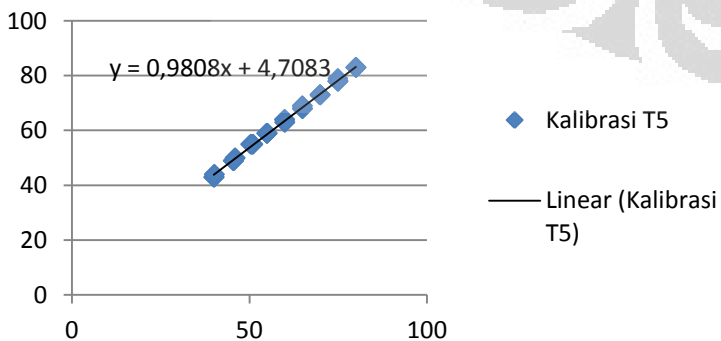
kalibrasi T3



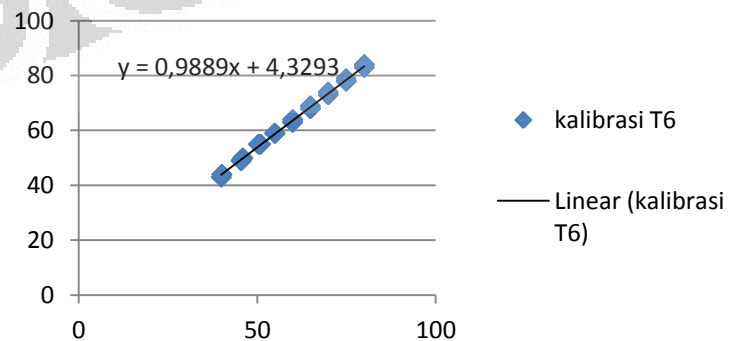
kalibrasi T4



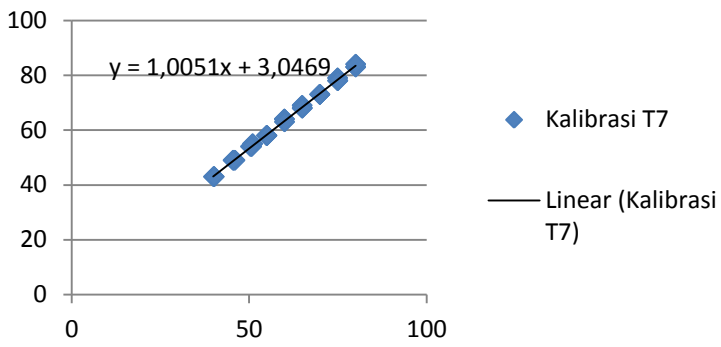
Kalibrasi T5



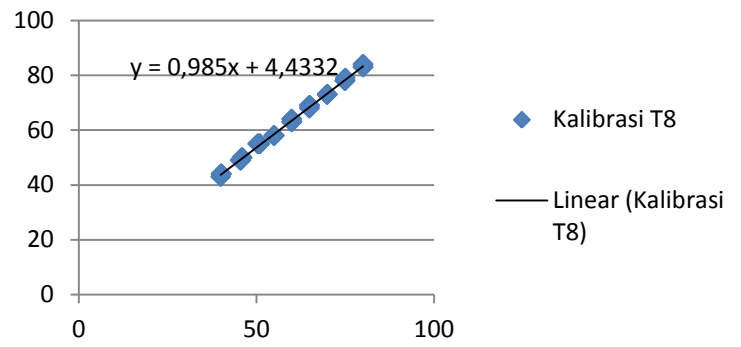
kalibrasi T6



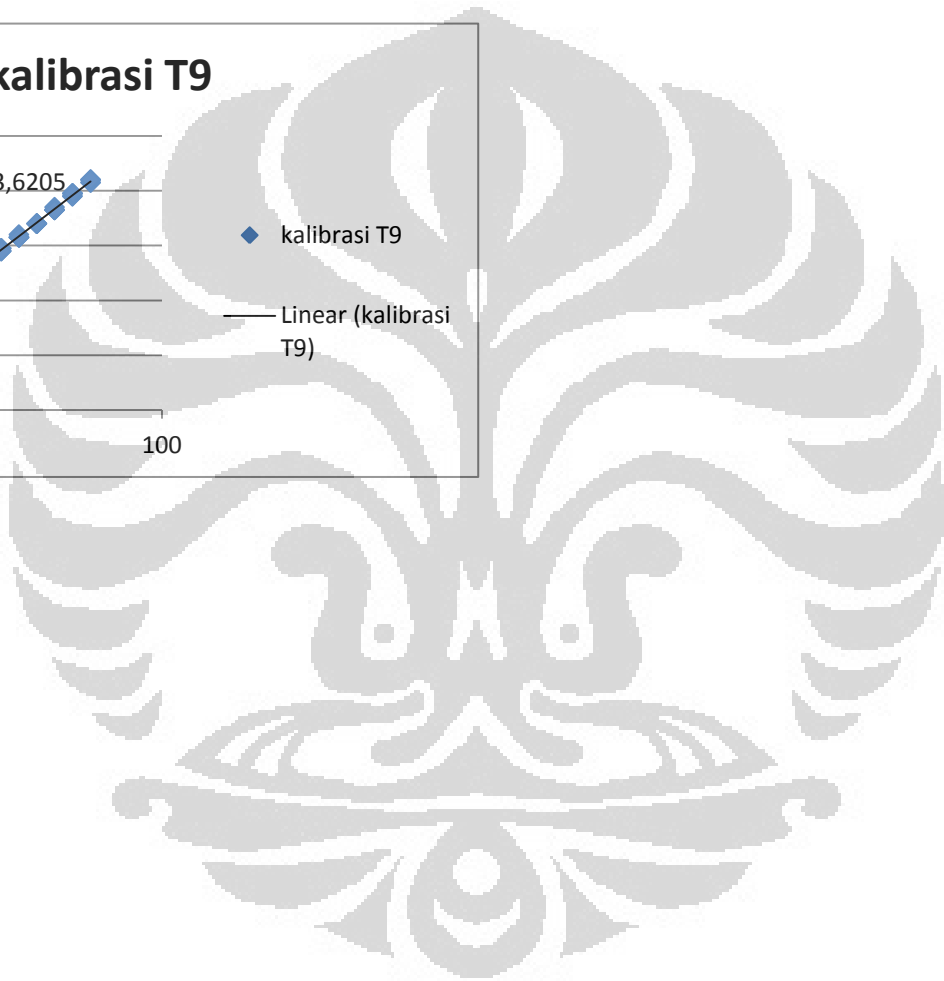
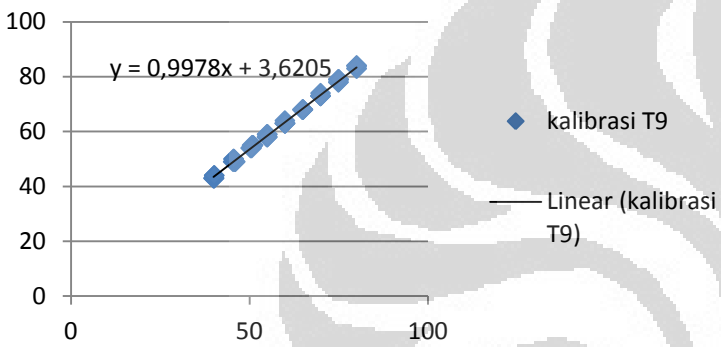
Kalibrasi T7



Kalibrasi T8



kalibrasi T9



Data Tanggal 12 Juni

Date	Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Temp Out	Out Hum	Solar Rad.
6/12/2012	10:00	34	47	41	46	38	47	47	45	45	30.1	69	564
6/12/2012	10:05	38	50	52	48	45	52	55	52	53	30	67	587
6/12/2012	10:10	40	51	59	50	52	56	56	54	55	30	68	548
6/12/2012	10:15	39	49	56	48	50	50	51	54	52	30.4	65	362
6/12/2012	10:20	40	44	55	44	46	45	46	49	48	30.2	66	362
6/12/2012	10:25	44	51	59	49	52	56	54	50	49	30.3	66	603
6/12/2012	10:30	46	50	59	49	49	53	52	50	48	30.5	67	443
6/12/2012	10:35	44	52	59	57	51	60	57	51	48	30.6	64	671
6/12/2012	10:40	46	53	57	56	54	62	57	53	47	30.1	66	647
6/12/2012	10:45	48	56	60	59	51	61	57	55	48	30.1	65	676
6/12/2012	10:50	50	48	50	52	49	51	49	50	48	30.2	66	323
6/12/2012	10:55	46	50	50	51	50	52	52	55	52	30.8	65	796
6/12/2012	11:00	48	52	52	52	50	53	53	55	54	30.9	63	814
6/12/2012	11:05	50	56	55	57	52	55	56	58	55	30.6	64	789
6/12/2012	11:10	44	54	55	56	51	55	56	58	56	30.9	65	812
6/12/2012	11:15	48	51	51	53	52	54	54	56	55	30.8	65	823
6/12/2012	11:20	48	53	54	58	47	51	51	52	51	31.8	62	803
6/12/2012	11:25	41	55	53	57	48	55	56	57	56	31.6	61	826
6/12/2012	11:30	45	56	55	61	52	56	57	57	55	31.2	61	847
6/12/2012	11:35	46	57	55	64	52	56	57	59	56	31.1	61	847
6/12/2012	11:40	49	53	52	62	50	51	52	54	52	31.5	59	849
6/12/2012	11:45	50	55	53	62	41	50	51	51	48	32.2	58	777
6/12/2012	11:50	48	51	51	57	43	47	47	48	46	31.8	58	338
6/12/2012	11:55	41	44	45	49	41	43	43	44	43	31.6	58	287

6/12/2012	12:00	46	50	48	52	49	49	49	51	47	31.9	59	802
6/12/2012	12:05	40	42	43	45	42	42	42	47	47	31.8	59	243
6/12/2012	12:10	52	40	39	41	41	44	44	48	45	31.4	60	288
6/12/2012	12:15	52	44	42	44	43	46	46	49	47	31.1	61	246
6/12/2012	12:20	43	48	46	48	49	59	60	61	55	31.4	60	782
6/12/2012	12:25	44	50	48	49	47	61	62	62	57	31.8	58	763
6/12/2012	12:30	44	51	49	50	48	62	62	63	58	32.3	58	738
6/12/2012	12:35	43	51	49	50	47	61	61	62	57	32.4	57	759
6/12/2012	12:40	42	51	49	50	50	61	62	61	53	32.5	58	766
6/12/2012	12:45	40	50	49	50	47	58	61	63	57	32.8	57	754
6/12/2012	12:50	40	46	44	46	46	51	52	56	51	32.7	57	756
6/12/2012	12:55	40	48	46	47	47	51	54	58	51	32.7	57	742
6/12/2012	13:00	41	49	48	48	45	53	56	60	52	32.9	57	726
6/12/2012	13:05	39	48	50	49	46	54	57	64	53	33.1	55	758
6/12/2012	13:10	38	43	44	46	44	51	54	58	51	32.5	57	717
6/12/2012	13:15	40	42	42	43	44	47	50	55	50	32.8	57	594
6/12/2012	13:20	40	41	42	42	44	45	46	51	48	32.9	56	262
6/12/2012	13:25	41	40	39	41	42	41	41	44	44	32.2	57	281
6/12/2012	13:30	40	40	40	40	42	40	42	47	43	32.2	58	251
6/12/2012	13:35	37	38	38	39	40	40	41	45	42	32.3	57	297
6/12/2012	13:40	40	38	37	38	41	38	39	43	40	32.2	57	248
6/12/2012	13:45	39	38	38	38	39	38	38	41	39	32	57	163
6/12/2012	13:50	39	37	37	37	39	38	38	41	39	31.9	60	199
6/12/2012	13:55	38	39	40	40	40	42	44	46	42	31.9	58	278
6/12/2012	14:00	43	40	40	40	42	41	42	47	42	32.3	58	278
6/12/2012	14:05	46	44	46	45	44	46	47	53	50	32.5	55	563
6/12/2012	14:10	43	43	44	46	44	46	49	57	54	32.5	56	568
6/12/2012	14:15	40	42	42	46	42	46	48	56	54	32.6	56	568

6/12/2012	14:20	39	41	42	47	41	46	48	58	52	32.6	57	540
6/12/2012	14:25	37	40	40	45	41	45	45	57	53	32.7	57	515
6/12/2012	14:30	38	40	40	45	40	43	43	54	50	32.8	56	454
6/12/2012	14:35	38	40	40	44	40	42	42	52	50	32.5	56	443
6/12/2012	14:40	37	39	39	42	39	45	44	50	44	32.4	59	306
6/12/2012	14:45	38	40	39	41	39	43	42	45	41	32.4	60	373
6/12/2012	14:50	38	39	39	40	37	40	40	42	40	32.2	61	193
6/12/2012	14:55	39	38	38	38	38	38	38	40	39	31.8	59	134
6/12/2012	15:00	39	37	37	37	38	38	37	39	39	31.8	59	120

Data Tanggal 13 Juni

Date	Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Temp Out	Out Hum	Solar Rad.
6/13/2012	10:00	34	41	42	40	37	43	44	46	42	28.4	77	376
6/13/2012	10:05	35	43	44	41	38	44	45	47	44	28.6	75	355
6/13/2012	10:10	35	46	46	44	39	45	46	49	45	28.5	75	353
6/13/2012	10:15	36	47	48	45	40	46	47	50	46	28.6	75	427
6/13/2012	10:20	35	48	49	47	41	49	50	53	48	28.8	75	513
6/13/2012	10:25	36	49	50	49	41	50	50	53	49	29	74	413
6/13/2012	10:30	36	49	50	49	41	51	50	53	51	29	74	434
6/13/2012	10:35	35	52	52	50	41	47	50	53	52	29.6	74	431
6/13/2012	10:40	36	49	48	45	42	47	50	55	57	29.7	71	533
6/13/2012	10:45	38	47	48	46	44	47	51	57	61	29.5	71	664
6/13/2012	10:50	38	53	53	49	48	60	63	69	65	29.7	72	738
6/13/2012	10:55	37	56	56	52	49	70	77	85	82	29.7	71	703
6/13/2012	11:00	40	57	57	52	48	63	69	81	81	29.8	72	696
6/13/2012	11:05	40	62	65	59	50	65	67	77	77	30.3	70	726

6/13/2012	11:10	41	65	67	61	52	77	80	85	79	30.5	69	732
6/13/2012	11:15	50	67	71	64	63	79	83	92	87	30.6	68	759
6/13/2012	11:20	52	65	67	63	63	82	86	94	92	30.8	67	671
6/13/2012	11:25	49	72	75	70	69	85	88	95	94	31	67	686
6/13/2012	11:30	48	73	79	74	70	88	90	93	93	31.1	68	519
6/13/2012	11:35	53	70	74	71	70	89	92	98	98	31.1	68	784
6/13/2012	11:40	48	58	59	58	60	74	77	88	93	31.4	66	629
6/13/2012	11:45	46	56	56	56	58	70	73	81	86	31.2	66	612
6/13/2012	11:50	44	56	56	56	49	68	70	76	79	31.4	65	666
6/13/2012	11:55	43	55	55	55	47	67	70	73	73	31.7	65	378
6/13/2012	12:00	44	60	60	60	48	70	73	75	72	31.8	60	791
6/13/2012	12:05	45	69	69	69	50	77	82	83	77	31.8	61	888
6/13/2012	12:10	46	70	71	69	52	79	84	86	81	31.9	61	798
6/13/2012	12:15	48	74	74	71	53	80	85	80	81	32.2	59	823
6/13/2012	12:20	52	80	79	75	50	79	85	84	80	32.2	58	803
6/13/2012	12:25	49	73	73	68	47	73	77	83	75	31.9	59	814
6/13/2012	12:30	53	86	80	75	49	75	81	86	76	32.1	59	819
6/13/2012	12:35	55	91	82	77	49	78	84	88	76	32.3	59	858
6/13/2012	12:40	56	91	83	77	50	77	84	86	76	32.4	58	810
6/13/2012	12:45	58	98	83	76	50	79	86	89	77	32.6	59	793
6/13/2012	12:50	54	90	83	76	48	79	85	84	70	32.3	59	728
6/13/2012	12:55	50	63	64	59	42	64	68	75	69	32.1	60	247
6/13/2012	13:00	48	59	61	57	47	62	67	73	69	32.1	58	276
6/13/2012	13:05	50	61	67	61	48	66	72	79	72	32.3	60	761
6/13/2012	13:10	54	66	73	65	48	70	76	75	70	32.3	58	749
6/13/2012	13:15	55	67	75	66	49	71	77	88	76	32.6	58	738
6/13/2012	13:20	52	65	74	65	48	70	77	74	75	32.8	58	782
6/13/2012	13:25	52	65	74	65	48	70	77	74	70	32.6	57	664

6/13/2012	13:30	47	53	57	52	46	59	65	83	70	32.6	57	725
6/13/2012	13:35	52	57	64	58	48	61	63	70	61	32.7	55	675
6/13/2012	13:40	51	59	69	61	49	65	68	75	66	32.5	57	671
6/13/2012	13:45	55	65	77	66	49	68	71	81	69	32.7	56	708
6/13/2012	13:50	52	53	56	56	48	59	65	75	64	32.9	53	675
6/13/2012	13:55	49	55	60	64	48	67	71	76	63	33.1	53	675
6/13/2012	14:00	44	51	55	58	49	72	76	81	68	32.8	53	629
6/13/2012	14:05	44	54	59	63	48	76	82	87	74	32.8	53	646
6/13/2012	14:10	43	52	55	60	48	76	82	91	81	32.7	54	606
6/13/2012	14:15	42	50	53	59	48	74	79	93	83	32.6	54	501
6/13/2012	14:20	45	55	60	71	49	74	80	94	82	32.7	54	631
6/13/2012	14:25	46	56	60	70	48	74	78	94	81	32.9	56	575
6/13/2012	14:30	41	46	48	53	46	71	72	88	77	32.9	54	571
6/13/2012	14:35	43	46	47	51	46	65	67	83	71	32.8	55	611
6/13/2012	14:40	43	47	47	52	45	61	62	76	69	32.8	55	559
6/13/2012	14:45	43	50	51	56	46	60	61	73	66	32.8	54	522
6/13/2012	14:50	44	49	50	52	45	59	59	69	64	32.9	53	487
6/13/2012	14:55	41	45	45	46	45	58	58	67	68	33	55	531
6/13/2012	15:00	42	44	45	45	45	54	55	66	58	32.8	56	508