



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH ARAH *PARABOLIC TROUGH COLLECTOR* (PTC) TERHADAP
EFISIENSINYA**

SKRIPSI

ANGGA PRAMUKTI

09 06 60 5233

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH ARAH *PARABOLIC TROUGH COLLECTOR* (PTC) TERHADAP
EFISIENSINYA**

SKRIPSI

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

ANGGA PRAMUKTI

09 06 60 5233

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JULI 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 : Angga Pramukti

NPM : 0906605233

Tanda Tangan :



Tanggal : 11 Juli 2012



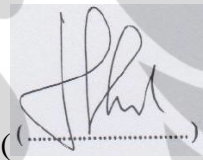
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Angga Pramukti
NPM : 09063605233
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Arah *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



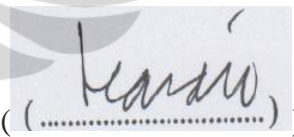
(.....)

Penguji : Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng.



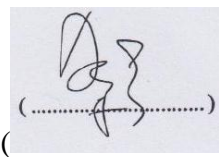
(.....)

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo Dipl. Ing



(.....)

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



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 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 Arah *Parabolic Through 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. Pak Dr. M. Idrus Alhamid dan Dr. Nasrudin, sebagai pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam menuntun saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Pak Prof. Dr. -Ing. Ir. Nandy Putra, yang telah mengizinkan penulis untuk meminjam fasilitas lab. Heat Transfer.
4. Bapak Ruli, yang turut membantu memberikan saran dan dorongan dalam pengujian dan pengambilan data di laboratorium.
5. Saudara Iwan Setiawan dan semua teman yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Rekan kerja laboratorium refrigerasi dan semua teman ekstensi yang telah bersama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Karyawan DTM FTUI atas kelancaran dan kemudahan yang diberikan selama menuntut ilmu di Universitas Indonesia.

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 : Angga Pramukti
NPM : 0906605233
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

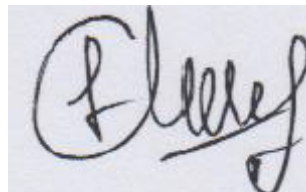
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Arah *Parabolic Through 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 : Juli 2012
Yang menyatakan



(Angga Pramukti)

ABSTRAK

Angga Pramukti
NPM 0906605233
Departemen Teknik Mesin

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid

PENGARUH ARAH *PARABOLIC TROUGH COLLECTOR* (PTC) TERHADAP EFISIENSINYA

ABSTRAK

Untuk mengkonversi energi matahari sebagai sumber energi alternatif, *solar concentrator* tipe *parabolic through collector* dipilih karena kemampuannya mengakumulasi radiasi sinar matahari .

Untuk mencapai sasaran yang optimal dalam pemanfaatan energi panas matahari, perlu dilakukan pengujian dan analisa lebih lanjut terhadap efisiensi dan performa yang dihasilkan. Pada tugas akhir ini, akan dibahas proses pengujian arah solar kolektor terhadap matahari yaitu arah timur-barat dan arah utara-selatan pada kondisi pengoperasian di daerah Depok untuk dilihat bagaimana karakteristik yang dihasilkan pada pengujian tersebut.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan fluida yang dialirkan melewati rangkaian 2 *parabolic concentrator* yang dipasang seri. Parameter yang diukur adalah temperatur fluida serta ambien, intensitas radiasi matahari, dan laju aliran massa selama 5 menit pada pukul 10 pagi hingga 3 sore . Dari sini dapat dihitung karakteristik efisiensi dan juga performa alat uji pada kondisi pengoperasian yang bervariasi.

Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa rata-rata efisiensi pada arah timur-barat dan utara-selatan tidak jauh berbeda yaitu 21 % dan 20 % . Dan pada arah timur-barat, kolektor surya harus dirubah sudutnya per 15 hari sekali.

Kata Kunci : *solar concentrator, parabolic through collector, timur-barat , utara-selatan , efisiensi*

ABSTRACT

Angga Pramukti
NPM 0906605233
Mechanical Departement Engineering

Councillor:
Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid

EFFECT OF PARABOLIC TROUGH COLLECTOR (PTC) TO THE EFFICIENCY

ABSTRACT

To convert solar energy as alternative energy sources, solar concentrator type parabolic through collector selected for its ability to accumulate solar radiation.

To achieve optimal utilization of solar thermal energy, need to do further testing and analysis of the resulting efficiency and performance. On this thesis, we discuss the process of testing the direction of the sun's solar collector is east-west and north-south for operating conditions in the area of Depok to see how the resulting characteristics of the test.

Tests carried out using a flow of fluid through a series of two parabolic concentrator mounted series. Parameters measured were fluid and ambient temperature, solar radiation intensity, and mass flow rate every 5 minutes from 10 AM to 3 PM. From Here can be calculated the efficiency and performance characteristics of test equipment at varying operating conditions.

The research revealed that the efficiency average oneast-west and north-south is not so different that is 21% and 20%. At east-west solar collector, the angle should be changed for every 15 days.

Key Word : solar concentrator, a parabolic through collector, east-west , north-south , efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
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	3
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	9
2.4 Irradiasi Matahari	12
2.4.1 Irradiasi Langsung.....	12
2.4.2 Irradiasi Sebaran.....	13
2.4.3 Irradiasi Pantulan.....	13
2.5 Solar Collector	14
2.5.1 Stationary Collector	15
2.5.1.1 Flate Plate Collector	15
2.5.1.2 Compound Parabolic Collector	16
2.5.1.3 Evacuated Tube Collector	16
2.5.2 Single-Axis Tracking Collector	17
2.5.2.1 Linear Fresnel Collector.....	17
2.5.2.2 Parabolic Trough Collector	18
2.5.3 Two-Axes Tracking Collector	19
2.5.3.1 Parabolic Dish Reflector	19
2.5.3.2 Heliostat Field Collector	19
2.6 Pemanas Air Tenaga Surya	20
2.7 Arah Kolektor Surya	21
2.7.1 Utara-Selatan	21
2.7.1 Timur-Barat	22
2.8 Concentrating Ratio	22
2.9 Performa.....	23
2.10 Efisiensi Termal Kolektor	24
2.11 Pengukuran.....	24
2.11.1 Termokopel	24
2.11.2 Flowmeter.....	25

2.11.3	Kompas.....	25
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1	Pengerjaan Alat uji.....	29
3.1.1	Konsentrator Parabolik	29
3.2	Prosedur Pengujian	31
3.3	Spesifikasi Komponen Alat Uji	32
3.4	Pengambilan Data	35
3.3.1	Data Lokasi Tempat	36
3.3.2	Data Irradiasi	36
3.3.3	Data Temperatur.....	36
3.5	Perhitungan dan Pengolahan Data	37
3.5.1	Pengujian Arah Timur-Barat.....	37
3.5.2	Pengujian Arah Utara-Selatan.....	40
3.5.3	Jarak Matahari-Bumi.....	41
BAB 4	ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA	42
4.1	Hasil dan Pengujian Radiasi	42
4.2	Temperatur Fluida.....	43
4.3	Jarak Matahari-Bumi.....	44
4.4	Karakteristik Efisiensi Pengujian.....	45
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
	DAFTAR PUSTAKA.....	48
	LAMPIRAN	

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	11
Gambar 2.4	Flat palte collector	15
Gambar 2.5	Compound parabolic collector.....	16
Gambar 2.6	Evacuated tube collector.....	17
Gambar 2.7	Linear fresnel collector	18
Gambar 2.8	Parabolic trough collector.....	18
Gambar 2.9	Parabolic dish reflector	19
Gambar 2.10	Heliostat field collector	20
Gambar 2.11	Parabolic trough solar concentrator 3d dan 2 d	21
Gambar 2.12	Geometri kolektor pada arah utara-selatan	22
Gambar 2.13	Geometri kolektor pada arah timur-barat	22
Gambar 2.14	Prinsip kerja termokopel	24
Gambar 2.15	Flowmeter	25
Gambar 2.16	Kompas bidik	26
Gambar 2.17	Kompas Silva.....	26
Gambar 2.18	Kompas M 53 A 515	27
Gambar 2.19	GPS	27
Gambar 3.1	Kurva fungsi parabolik	30
Gambar 3.2	Skema alat uji	34
Gambar 3.3	Panel konsentrator parabolik	32
Gambar 3.4	Pompa air	33
Gambar 3.5	Tangki fluida.....	33
Gambar 3.6	Termokopel screw in tipe K	34
Gambar 3.7	Flowmeter	34
Gambar 3.8	Weather Instrument Davis Vintage Pro 2.....	35
Gambar 3.9	Kompas	35
Gambar 4.1	Grafik radiasi arah timur-barat	42
Gambar 4.2	Grafik radiasi arah utara-selatan	43
Gambar 4.3	Grafik temperatur fluida arah timur-barat	43
Gambar 4.4	Grafik temperatur fluida arah utara-selatan	44
Gambar 4.5	Grafik jarak matahari-bumi tahun 2012	44
Gambar 4.6	Grafik jarak matahari-bumi bulan Juli 2012.....	45
Gambar 4.7	Kurva efisiensi kolektor.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis kolektor	15
Tabel 2.2	Jenis-jenis sensor termokopel menurut NIST	25
Tabel 3.1	Tabel Efisiensi Arah Timur-Barat.....	39
Tabel 3.2	Tabel Efisiensi Arah Utara-Selatan.....	40
Tabel 3.3	Tabel Jarak-Matahari Tahun 2012	40
Tabel 3.4	Tabel Jarak-Matahari Bulan Juli 2012	41



DAFTAR SIMBOL



α	: absorptansi.
ρ	: reflektansi.
τ	: transmittansi.
ω	: sudut waktu harian.
δ	: sudut deklinasi matahari
φ	: sudut lintang bumi
α	: sudut ketinggian matahari
G_{nd}	: Irradiasi langsung (W/m^2)
A	: Irradiasi matahari <i>apparent</i> (W/m^2)
B	: koefisien gelap terang atmosfer
β	: ketinggian matahari
C_N	: tingkat kecerahan
G_r	: Irradiasi pantulan (W/m^2)
G_{th}	: Irradiasi total (W/m^2)
P_g	: reflektansi permukaan
F_{wg}	: fraksi radiasi
Q	: besar panas (W)
A	: Luas Penampang (m^2)
k	: Konduktivitas Termal ($W/m.K$)
h	: Koefisien konveksi (W/m^2K)
σ	: konstanta Stefan Boltzmann (W/m^2K^4)
\dot{m}	: laju aliran massa (kg/s)
c	: kalor jenis ($J/Kg\ ^\circ C$)
C	: kapasitas kalor ($J/^\circ C$)
q_u	: energi berguna (W)

T_a : temperatur ambien (C)

F_R : faktor pelepas panas

A_a : luas *apperture* (m^2)

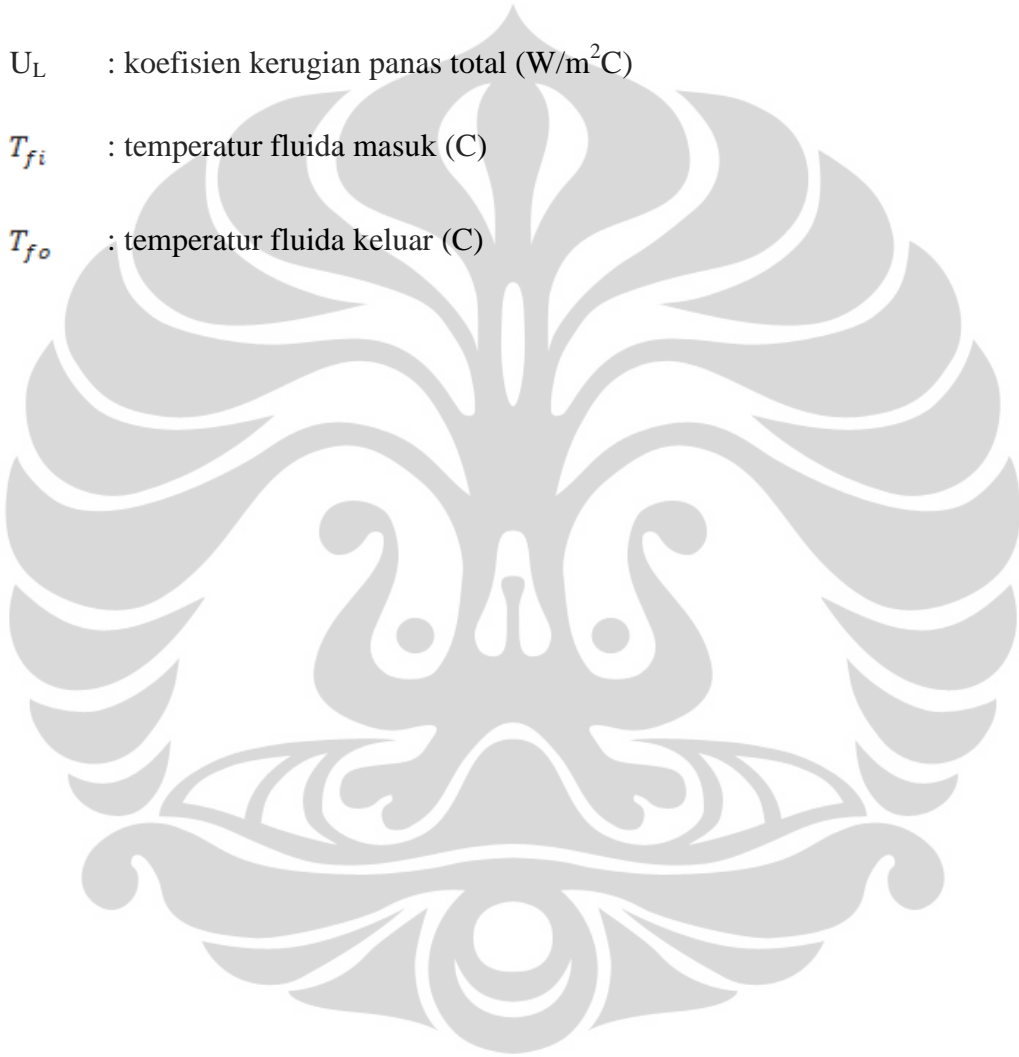
I : intensitas radiasi matahari (W/m^2)

η : efisiensi (%)

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

T_{fi} : temperatur fluida masuk (C)

T_{fo} : temperatur fluida keluar (C)





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. 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 terpilihah solar konsentrator sebagai tugas akhir. 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 *glass envelope* berupa pipa *pyrex* sebagai efek rumah kaca pada pipa absorber, pemilihan media yang optimal untuk *glass envelope* dan penentuan *sun tracking* yang efektif dan efisien.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Pengujian alat pemanas tenaga surya terdiri dari 2 konsentrator parabolik yang dirangkai seri. Kemudian dilihat karakteristik efisiensi yang dihasilkan pada variasi arah pada kolektor.

Permasalahan yang akan dibahas pada penulisan ilmiah ini mencakup:

- Kajian teoritis mengenai sistem kolektor parabolik
- Proses pengujian sistem
- Analisa hasil pengujian sistem dengan variasi arah kolektor.

Eksperimen yang dilakukan dikerjakan bersama dengan saudara Iwan Rusdian yang berjudul “Pengaruh Tabung Kaca Pada *Absorber Parabolic Trough Collector* (PTC) Terhadap Efisiensinya” sehingga dalam penulisan terdapat paragraf yang sama dengan saudara Iwan Rusdian.

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektif dan efisien dari *parabolic solar concentrator*. Efisiensi dari *parabolic solar concentrator* yang menggunakan fluida kerja berupa *palm oil* untuk mendapatkan temperatur maksimum.

Performa *parabolic solar concentrator* kemudian diuji dengan variasi arah kolektor yaitu timur-barat dan utara-selatan. Setelah itu dilakukan juga analisa perpindahan kalor guna mendapatkan efisiensinya.

1.4. PEMBATAAN MASALAH

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Satuan dalam penulisan skripsi menggunakan standar Satuan Internasional(SI)
2. Panel *parabolic solar concentrator* terdiri dari 2 buah yang disusun secara seri.
3. Perhitungan secara analitik mengambil data radiasi dari alat sensor cuaca “*weather instrument*” buatan Davis Instrument.
4. Panel *parabolic solar concentrator* digunakan hanya untuk memanaskan fluida *palm oil* atau minyak goreng filma.
5. Pipa absorber terdiri dari pipa tembaga dan pipa kaca *pyrex*.

6. Tekanan pada sistem fluida tidak diperhitungkan.
7. Sistem bersifat *steady state*.
8. Arah kolektor adalah timur-barat dan utara-selatan

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Study literatur tentang energi surya dan *parabolic solar concentrator*.
2. Merekonstruksi panel *parabolic solar concentrator* dengan penambahan sistem slider pada tiang penyangga pipa absorber.
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* dan membandingkan .
7. Analisa proses perpindahan kalor terhadap hasil kerja *parabolic solar concentrator*.
8. Melakukan kesimpulan dan saran kedepannya .

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan

Menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II: Landasan Teori

Menjelaskan tentang konsep distilasi dan teori-teori penunjang atau hal-hal yang menjadi pendukung topik penelitian.

Bab III: Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian, proses pengambilan data, proses pembuatan.

Bab IV: Hasil Data Penelitian dan Analisis Data

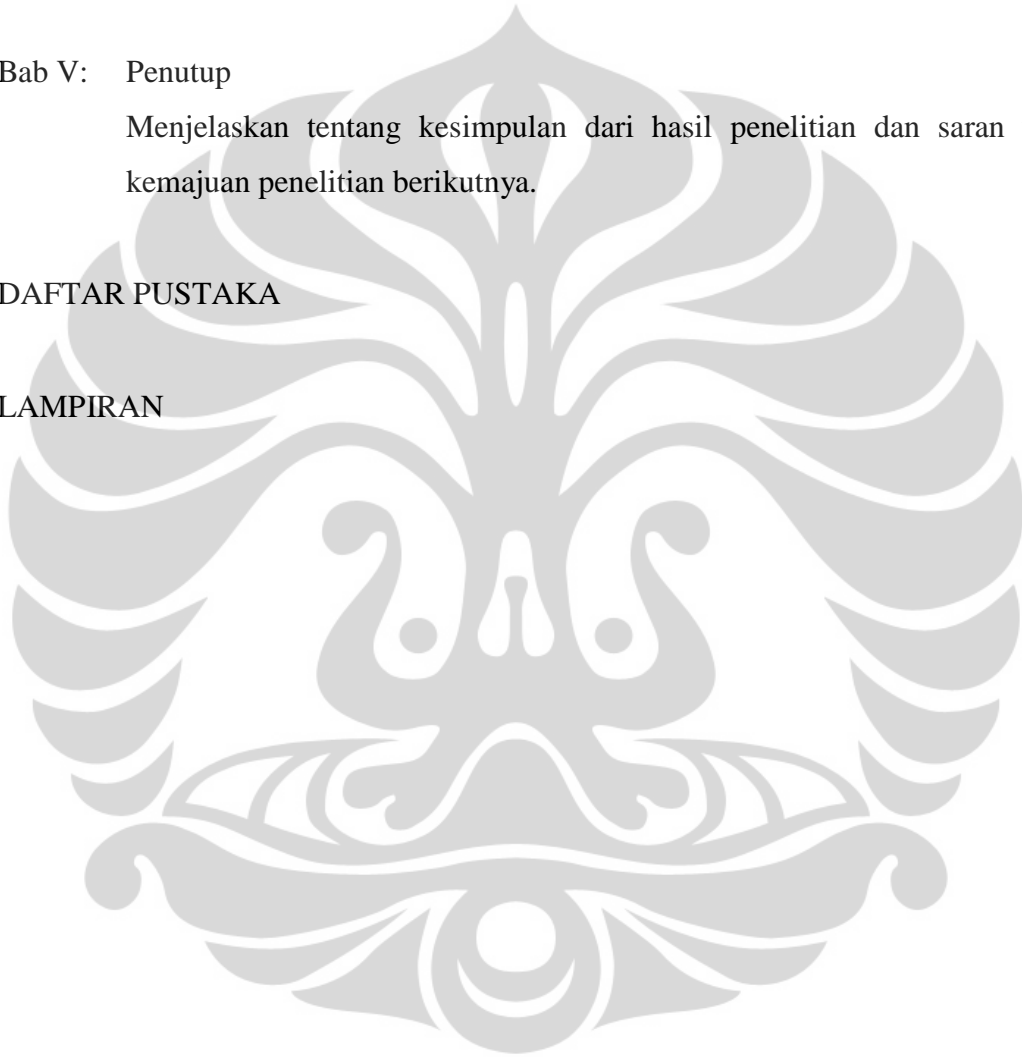
Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada bab ini, selanjutnya dari hasil pengujian akan dilakukan perhitungan dan dianalisa dari aspek perpindahan kalor dan efisiensinya.

Bab V: Penutup

Menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB 2

DASAR 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 $0,1 \times 10^{-6}$ m s/d 100×10^{-6} m.

Radiasi panas total yang mengenai permukaan dari seluruh arah dan seluruh sumber disebut irradiansi total atau irradiansi 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 :

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

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 temperatur dari material. Laju energi yang diemisikan dinyatakan dengan kekuatan emisif total (E). Besarnya nilai ini bergantung pada temperature system dan juga karakteristik material dari sistem. Beberapa permukaan memancarkan energi yang lebih besar daripada yang lainnya pada temperatur 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 (spektrum 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:

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

dengan :

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

Persamaan diatas merupakan pergeseran Wien, dimana nilai maksimum radiasi yang dipancarkan berada pada sekitar λ_{max} . Semakin meningkat temperatur, harga panjang gelombang maksimum semakin pendek, hal ini merupakan konsep dasar dalam aplikasi dimana benda-benda dengan temperatur 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 faktor pengali berupa emittansi (ϵ), sehingga persamaan kekuatan emisif total (E) dapat ditulis :

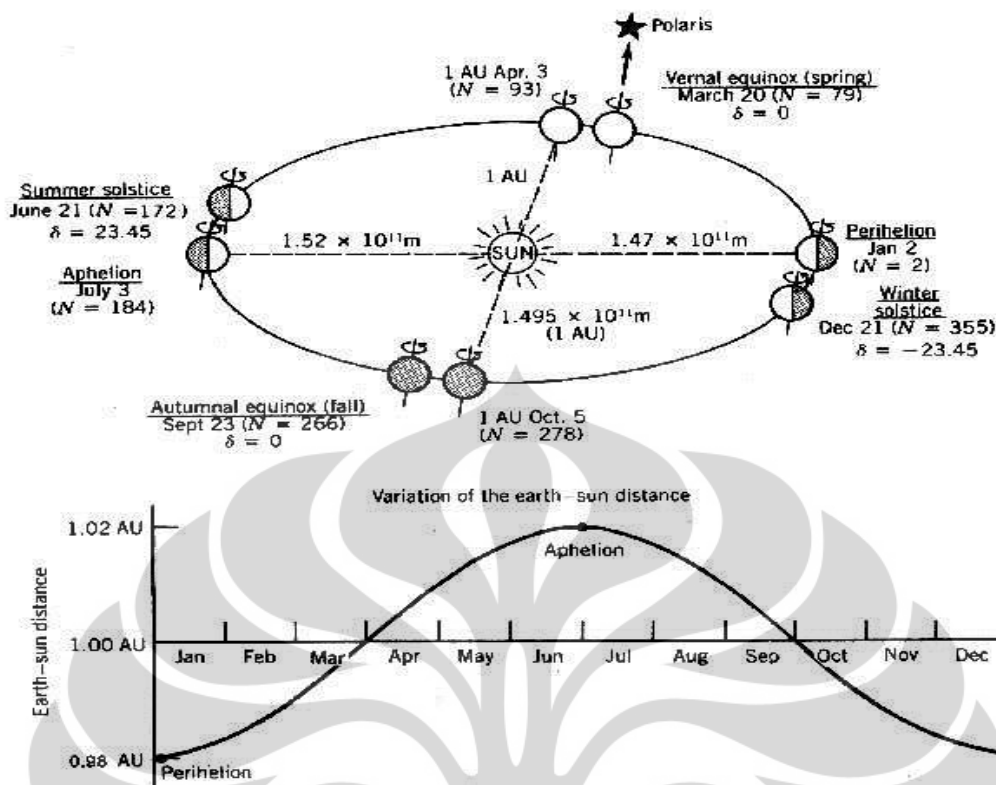
$$E = \epsilon E_B \dots\dots\dots(2.3)$$

Nilai emittansi bervariasi menurut temperatur 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:www.powerfromthesun.net)

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 relatif lebih panas dibanding sisi selatan bumi.

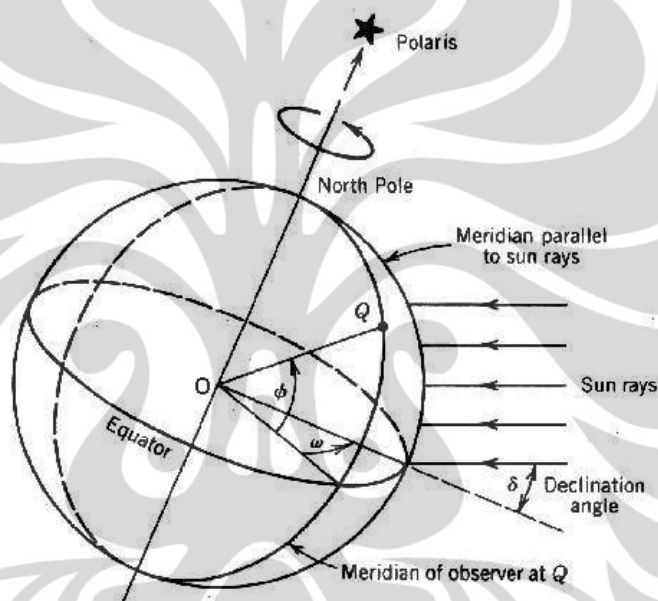
Selama musim panas (*summer solstice*), matahari berada di atas sepanjang garis *tropic of cancer* dan selama musim dingin (*winter solstice*), matahari berada di atas sepanjang garis *tropic of Capricorn*.

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 negatif, dari 0° s/d 90° .



Gambar 2.2 Lintang, sudut waktu dan deklinasi matahari

Sudut waktu (ω) merupakan sudut antara proyeksi Q pada bidang ekuatorial 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:

$$\sin \alpha = \cos(\phi) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\delta) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan

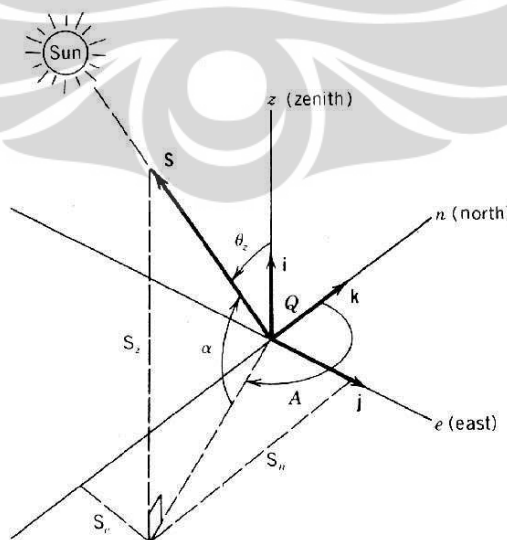
α = sudut ketinggian matahari

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 spektrum terlihat. Sekitar 40 % dari total energi yang dipancarkan oleh matahari terjadi pada daerah terlihat dari spektrum, berada diantara $0,4 \div 0,7 \times 10^{-6} \text{ m}$, sekitar 51 % berada pada daerah infrared diantara $0,7 \div 3,5 \times 10^{-6} \text{ m}$, sedangkan 9 % berada pada daerah ultraviolet $0,4 \times 10^{-6} \text{ m}$.

Sebagian radiasi matahari yang masuk ke dalam atmosfer bumi di sebarakan 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 faktor pengali *dimensioless* yang dilihat pada tabel 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: *non-concentrating* atau diam dan berkonsentrasi. Sebuah *non-concentrating* 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.

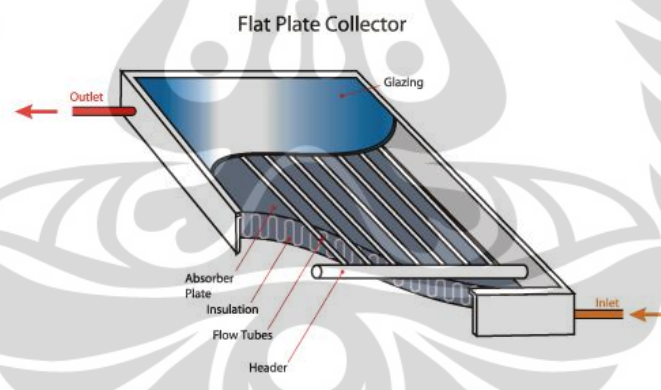
Tabel 2.1 Tipe Solar Collector

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

2. 5.1 Stationary Collector

2. 5.1.1 Flate Plate Collector (FPC)

Panel kolektor pelat datar adalah komponen terpenting dari sistem 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 temperatur ambient. (Duffie&Beckman, 1982).



Gambar 2.4 Kolektor surya pelat datar

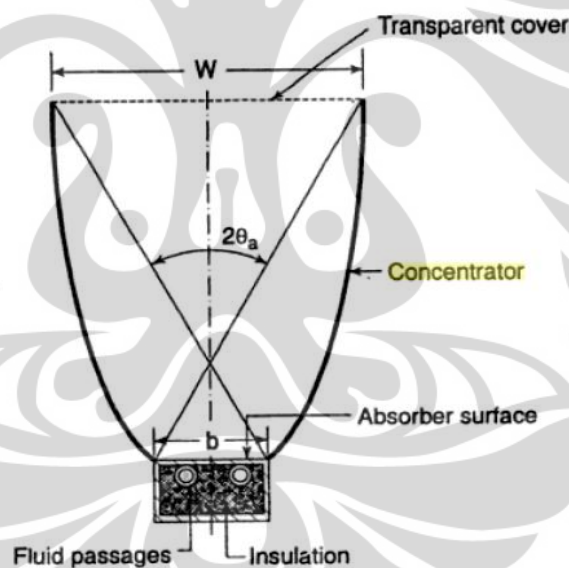
Komponen terpenting dari kolektor surya pelat datar adalah pelat datar penyerap (*absorber*) yaitu alat yang menerima radiasi energi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Pelat tersebut mentransfer panas dihasilkan ke fluida kerja.

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 sistem 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. 5.1.2 Compound Parabolic Collector (CPC)

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°C - 200°C .



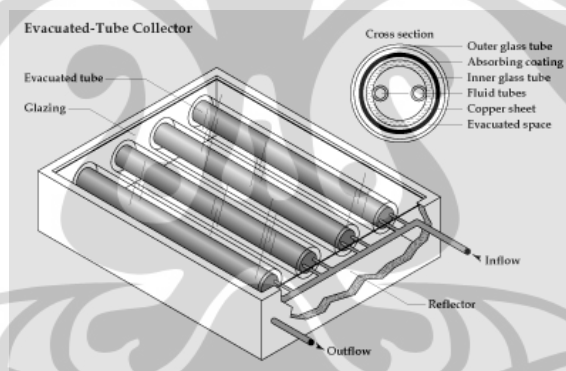
Gambar 2.5 Compound Parabolic Collector

2. 5.1.3 Evacuated Tube Collector (ETC)

Evacuated tube collector terbuat dari suatu seri dari tabung-tabung modular, dipasang paralel, dengan jumlah yang dapat ditambahkan atau dikurangi saat kebutuhan akan pengiriman air panas berubah. Jenis dari kolektor ini terdiri dari baris paralel 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.



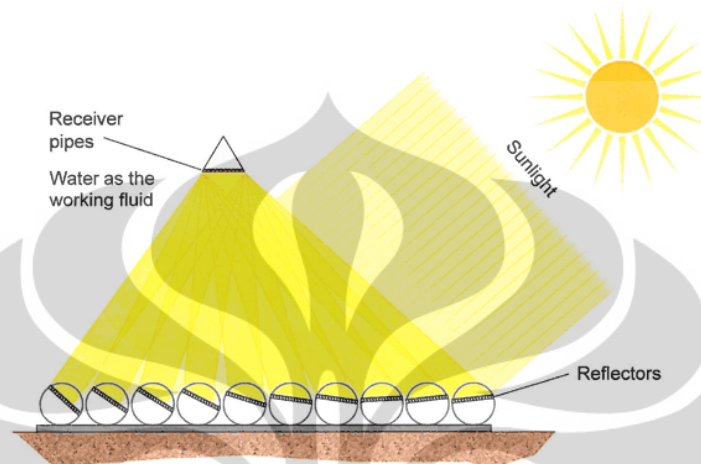
Gambar 2.6 Evacuated Tube Collector

2. 5.2 Single-Axis Tracking Collector

2. 5.2.1 Linear Fresnel Collector (LFC)

Sebuah *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),

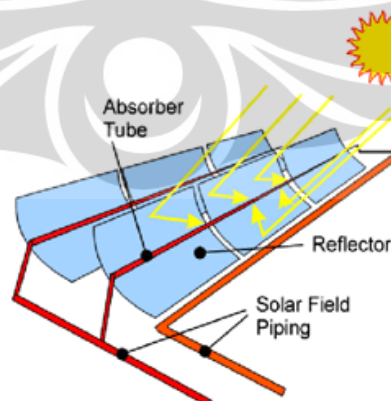
sementara ini masih menggunakan geometri garis-fokus sederhana dengan satu sumbu untuk pelacakan. Hal ini mirip dengan desain palung (dan berbeda dari menara pusat dan hidangan dengan dual-axis). Posisi *receiver* adalah diam sehingga kopling cairan tidak diperlukan (seperti dalam palung dan hidangan). Cermin juga tidak perlu untuk mendukung *receiver*, sehingga mereka secara struktural sederhana.



Gambar 2.7 Linear fresnel collector

2. 5.2.2 Parabolic Trough Collector (PTC)

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.

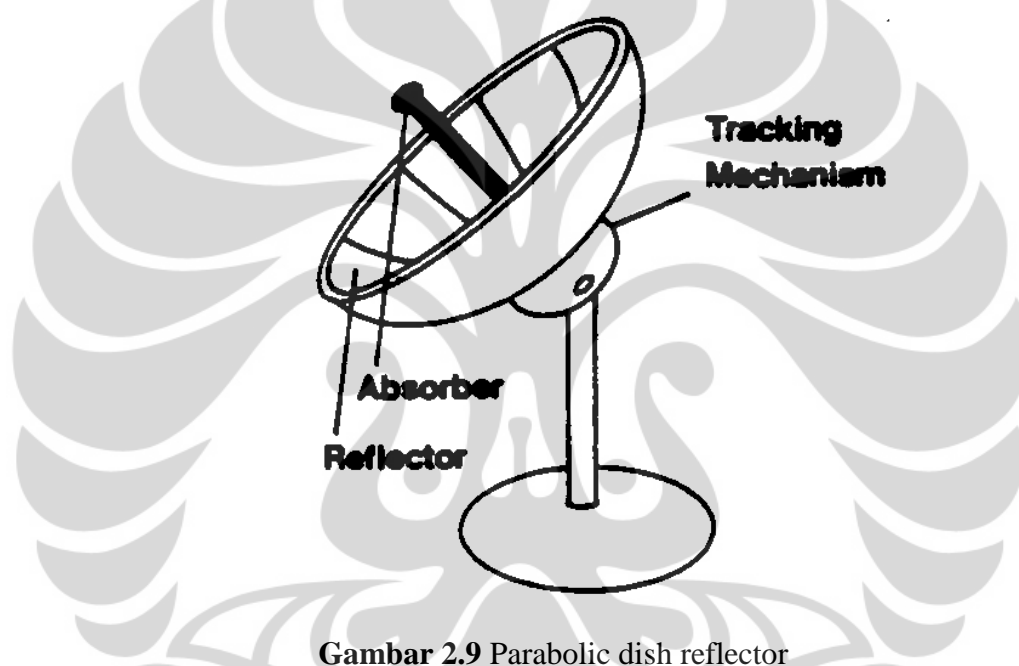


Gambar 2.8 Parabolic trough collector

2. 5.3 Two-Axes Tracking Collector

2. 5.3.1 Parabolic Dish Reflector (PDR)

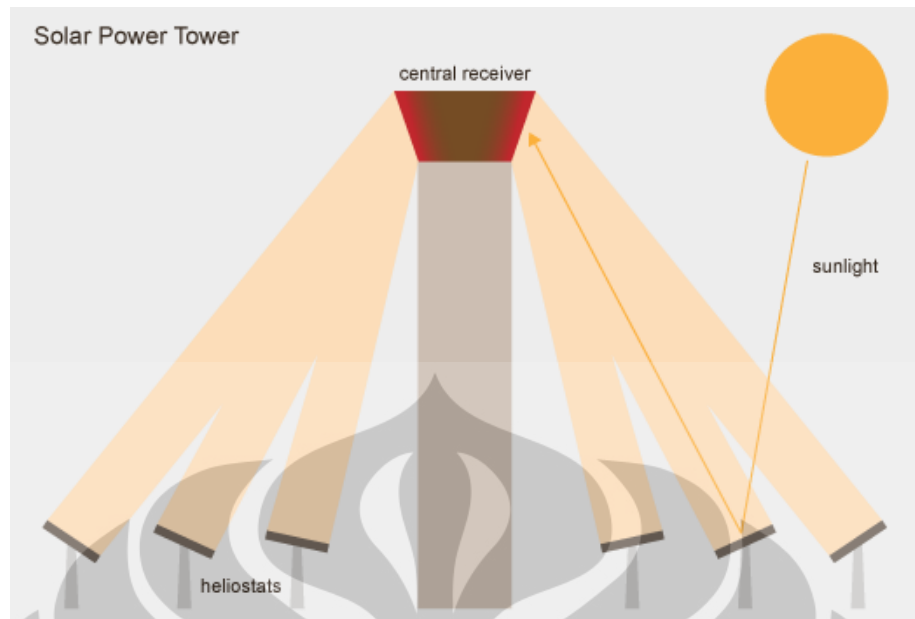
Parabolic dish reflector adalah seperti suatu piringan (*dish*) satelit yang besar tetapi dengan permukaan bagian dalam terbuat dari material cermin. Cermin tersebut memusatkan seluruh energi matahari pada titik tunggal dan dapat mencapai temperatur yang sangat tinggi. Secara tipe, *dish* ini digabungkan 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 2.9 Parabolic dish reflector

2. 5.3.2 Heliostat Field Collector (HFC)

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 2.10 Heliostat field collector

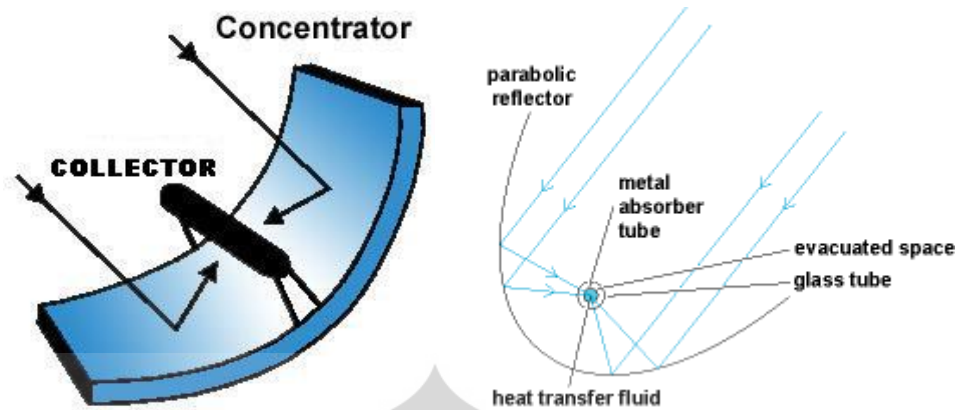
2. 6. PEMANAS TENAGA SURYA (*SOLAR HEATER*)

Pemanas tenaga surya atau solar heater adalah alat pengumpul panas dari energi matahari yang digunakan untuk memanaskan fluida. Pemanas 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 Parabolic trough solar concentrator 3d dan 2 d

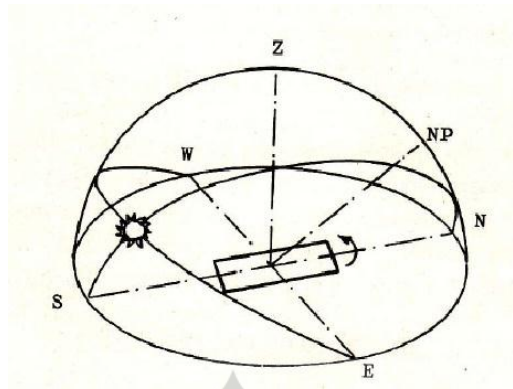
Komponen terpenting dari *parabolic trough concentrator* adalah concentrator dan pipa penyerap. Sinar matahari yang datang dari satu arah terdistribusi merata dipantulkan ke arah suatu garis focal dimana pipa penyerap ditempatkan. Luas bidang pemantul/*concentrator* yang menerima sinar akan men-intensifkan 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. Temperatur air yang dapat dibangkitkan *parabolic through concentrator* dapat mencapai 400°C sehingga banyak dimanfaatkan untuk *steam generation* pada pembangkit listrik maupun industri.

2. 7. ARAH KOLEKTOR SURYA

2. 7.1 Utara-Selatan

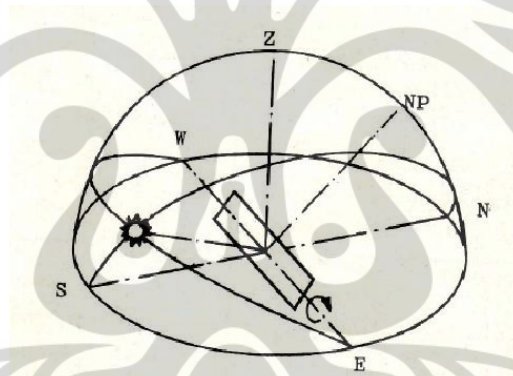
Geometri dasar untuk kolektor ditempatkan pada horizontal dengan sumbu rotasi dalam utara-selatan horizontal yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Sumbu horisontal dari kolektor bisa ditempatkan di azimuth apapun, tetapi kami hanya membahas utara-selatan konfigurasi (bagian ini) dan timur-barat konfigurasi (bagian 2.7.2).



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:

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

Dari sini dapat dikatakan 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 ditebuk 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 energy atau daya yang dihasilkan. Berdasarkan pada standard ASHRAE 93, 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 = faktor pelepas panas

A_a = luas *apperture* (m^2)

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

η_o = efisiensi optik (*concentrator*)

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

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

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

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

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

c_p = koefisien panas fluida (J/KgK)

2. 10. 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. Sedangkan energi yang berguna adalah energi yang digunakan untuk menaikkan temperatur fluida yang mengalir dengan debit tertentu.

Efisiensi termal dari *collector* dinyatakan dengan :

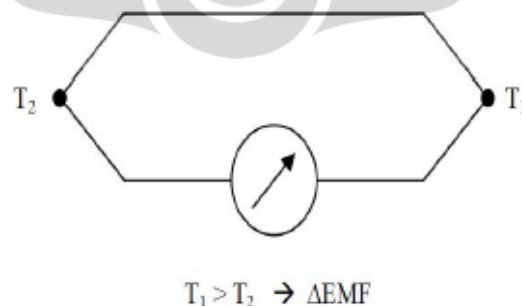
$$\eta = F_R \left[\eta_o - \frac{U_L}{I C_r} (T_{fi} - T_a) \right] = \frac{\dot{m} c_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_d I} \dots \dots \dots (2.14)$$

2. 11. PENGUKURAN

Mengukur adalah membandingkan parameter pada obyek yang diukur terhadap besaran yang telah distandarkan, sedangkan pengukuran merupakan suatu usaha untuk mendapatkan informasi deskriptif-kuantitatif dari variabel-variabel fisika dan kimia suatu zat atau benda yang diukur, misalnya panjang 1m atau massa 1 kg dan sebagainya.

2. 11.1 Termokopel

Suatu termokopel bekerja atas dasar prinsip fenomena dari Seebeck (pada tahun 1821), yaitu : bila suatu rangkaian yang terdiri dari dua buah logam yang tidak sejenis dan bila temperatur pada sambungan-sambungan dari kedua kawat tersebut tidak sama, maka akan ada gaya listrik (electromotive force = emf), seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.14 Prinsip kerja termokopel

Menurut National Institute of Standart and Technology (NIST) terdapat berbagai macam jenis sensor termokopel yang dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Jenis-jenis sensor termokopel menurut NIST

Ref	Material	Range °C	Seebeck Coofient $\mu V/^\circ C$
B	Platium 30% Rhodium/Platinum 6% rhodium	0 - 1800	3
E	Cramel / Constantan	-200 - 1000	63
J	Iron / Constantan	-200 - 900	53
K	Chromel / Alumel	-200 - 1300	41
N	Nirosil / nisil	-200 - 1300	28
R	Platinum / Platinum 13% rhodium	0 - 1400	6
S	Platinum / Platinum 10% Rhodium	0 - 1400	6
T	Copper / Constantan	-200 - 400	43

2. 11.2 Flowmeter

Flowmeter adalah alat untuk mengukur jumlah atau laju aliran dari suatu fluida yang mengalir dalam pipa atau sambungan terbuka. alat ini terdiri dari *primary device*, yang disebut sebagai alat utama dan *secondary device* (alat bantu sekunder)

Flowmeter umumnya terdiri dari dua bagian, yaitu alat utama dan alat bantu sekunder. Alat utama menghasilkan suatu signal yang merespons terhadap aliran karena laju aliran tersebut telah terganggu. Alat utamanya merupakan sebuah orifis yang mengganggu laju aliran, yaitu menyebabkan terjadinya penurunan tekanan.

Alat bantu sekunder menerima sinyal dari alat utama lalu menampilkan, merekam, dan/atau mentransmisikannya sebagai hasil pengukuran dari laju aliran.

**Gambar 2.15** Flowmeter

2. 11.3 Kompas

Kompas adalah alat navigasi untuk menentukan arah berupa sebuah panah penunjuk magnetis yang bebas menyelaraskan dirinya dengan medan magnet bumi

secara akurat. Kompas memberikan rujukan arah tertentu, sehingga sangat membantu dalam bidang navigasi. Arah mata angin yang ditunjukkannya adalah utara, selatan, timur, dan barat. Apabila digunakan bersama-sama dengan jam dan sekstan, maka kompas akan lebih akurat dalam menunjukkan arah. Alat ini membantu perkembangan perdagangan maritim dengan membuat perjalanan jauh lebih aman dan efisien dibandingkan saat manusia masih berpedoman pada kedudukan bintang untuk menentukan arah. Kompas memiliki berbagai macam jenis yaitu :

1. Kompas Bidik



Gambar 2.16 Kompas bidik

Kompas bidik adalah kompas yang biasa digunakan oleh militer, pramuka, dan pengembara. Kompas ini mudah mendapatkannya, harganyapun relatif murah, juga penggunaannya cukup sederhana serta lengkap.

- a. Kompas bidik lensa/kaca;
- b. Kompas bidik Prisma;

2. Kompas Silva



Gambar 2.17 Kompas Silva

Kompas ini sudah dilengkapi busur drajat dan penggaris. Dalam penggunaannya akan sangat mudah karena kompas ini tidak dilengkapi alat bidik. Kecermatan bidik kompas ini agak kurang.

3. Kompas M 53 A 515



Gambar 2.18 Kompas M 53 A 515

Kompas yang ketiga ini merupakan penyempurnaan, atau gabungan dari kedua bentuk kompas yang pertama dan kedua. Cara kerja kompas ini yaitu kemampuan kompas bidik digabung dengan kompas Silva sehingga makin mudah digunakan; paling tidak untuk saat ini.

4. Geografical Position Satelite (GPS)



Gambar 2.19 GPS

Saat ini banyak pula pendaki gunung yang memanfaatkan alat navigasi sistem GPS, yang merupakan singkatan dari Geografical Position Satelite. Sistem ini dikembangkan dengan bantuan satelit militer Amerika Serikat yang digunakan untuk kebutuhan komersial.

Sebenarnya alat ini digunakan untuk navigasi udara, tetapi dalam perkembangannya atau kenyataannya saat ini, juga bisa digunakan untuk navigasi darat dan laut. Secara garis besarnya bentuk alat ini kurang lebih sebesar kalkulator. Pengoperasian alat ini dibantu oleh minimal 3 buah satelit pengamat.



BAB 3

METOLOGI PENELITIAN

Pengujian dalam penulisan skripsi ini adalah berupa pengambilan data- data eksperimen berupa temperatur dan besarnya irradiasi matahari selama proses pengujian dilaksanakan.

Peralatan uji yang digunakan adalah pemanas tenaga surya yang terdiri dari 2 buah konsentrator parabolik yang tersusun seri. Sistem yang digunakan adalah sistem aktif dengan menggunakan sebuah pompa air untuk mengalirkan fluida kerja ke dalam rangkaian.

Sebuah flowmeter dipasang pada aliran masuk rangkaian untuk menghitung besarnya debit fluida selama pengujian dilakukan, untuk menghitung besarnya temperatur fluida kerja maka pada jalur masuk dan keluar tiap kolektor masing-masing dipasang sebuah termokopél. 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 dan temperature ambient.

3.1. Pengerjaan Alat Uji

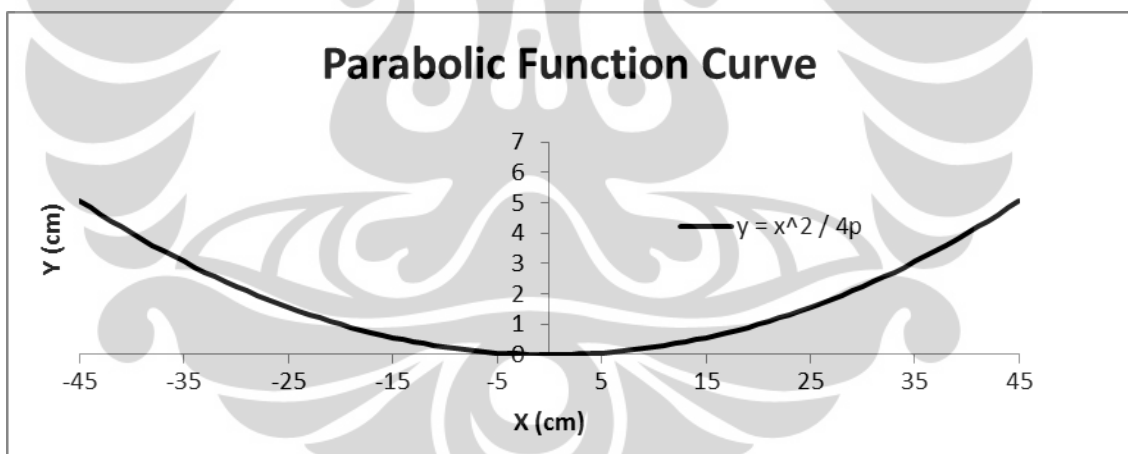
3.1.1 Konsentrator Parabolik

Pada kondisi awal terdapat 2 konsentrator parabolik yang masih dapat digunakan tetapi butuh sedikit perbaikan. Oleh karena itu diputuskan untuk memperbaiki konsentrator parabolik. Adapun pengerjaan lanjut yang dilakukan sebelum pengujian sebagai berikut:

1. Memperbaiki konsentrator parabolic seperti penggantian mur dan baut yang sudah berkarat dan mencat kembali rangka kayu.
2. Mengganti absorber pelat baja dengan tembaga dan *pyrex* sebagai *glass envelope*.

3. Membuat *slider* dengan menggunakan besi silinder hollow yang berfungsi mencari fokus matahari terhadap absorber.
4. Memverifikasi termokopel dan memasangnya pada 9 titik pengukuran di konsentrator parabolik.
5. Menghubungkan antara tangki dan konsentrator parabolik sehingga membentuk rangkaian.

Pada dasarnya tujuan dari bentuk parabola adalah memusatkan cahaya pada suatu titik dengan mempertimbangkan aspek luasan aperture yang besar. Jarak titik ini terhadap permukaan parabola 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

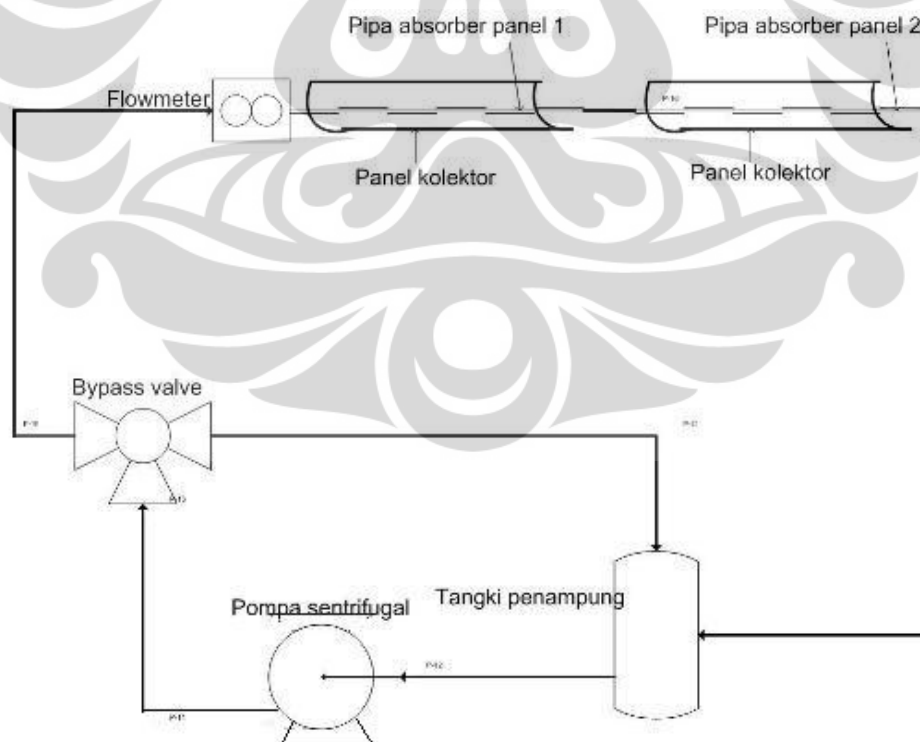
Lebar penampang pemantut dari plat mirror 100 cm dan panjang 150 cm. luas aperture (A_a) adalah luas bidang datar dari parabola yang didapat dengan mengalikan panjang dengan lebar pandangan dari atas parabola. Jadi luas aperture bukan luas pelat sebelum ditekuk mengikuti bentuk kurva melainkan dengan 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. PROSEDUR PENGUJIAN

Pengujian ini menggunakan dua unit kolektor parabolik tenaga surya yang dapat dirangkai secara seri. Pengaturan tipe rangkaian dilakukan dengan mengatur bukaan katup pada pipa sepanjang aliran yang dilalui fluida kerja. Untuk mengetahui distribusi temperatur selama pengujian dipasang sensor temperatur berupa termokopel pada aliran masuk dan keluar setiap unit kolektor serta sebuah termokopel untuk mengukur temperatur lingkungan.

Fluida kerja adalah berupa air yang ditampung pada tangki penampung yang bervolume 7 liter. Air disirkulasikan dengan menggunakan pompa air yang memiliki kapasitas debit maksimum sebesar 33 ltr / menit. Selama pengujian, debit air diukur dengan sebuah flowmeter yang dipasang in line pada aliran masuk rangkaian. Data irradiansi matahari diukur dengan menggunakan *weather instrument*.

Data-data hasil pengujian dicatat setiap 5 menit dengan rentang waktu lebih kurang 5 jam setiap pengujian berlangsung. Berikut ini adalah skema alat uji rangkaian kolektor tenaga surya parabolik:



Gambar 3.2 Skema alat uji

3.3. SPESIFIKASI KOMPONEN ALAT UJI

Peralatan uji yang digunakan terdiri dan beberapa komponen peralatan yaitu:

1. Konsentrator Parabolik

Konsentator parabolik memiliki 2 buah panel dan dirangkai seri. Pipa absorber yang dipasang adalah pipa absorber yang memiliki *glass envelope* berupa kaca *pyrex* berdiameter 3 inch dan pipa absorber berupa pipa tembaga dengan diameter 1 inch. Tiang penyangga pun telah dimodifikasi dengan adanya slider pada koordinat X dan Y sehingga akan memudahkan pemfokusan pantulan sinar matahari pada pipa absorber.



Gambar 3.3. Konsentrator Parabolik

2. Pompa Air

Rangkaian yang dipakai merupakan sistem aktif tertutup dimana air disirkulasikan terus menerus selama pengujian berlangsung sehingga membutuhkan pompa untuk mengalirkan air. Tipe pompa yang digunakan adalah Shimizu 130 BT dengan kapasitas maksimum 33 liter / menit dan daya 125 W



Gambar 3.4 Pompa Air

3. Tangki Air

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



Gambar 3.5 Tangki Air

4. Sensor Temperatur

Untuk mengukur temperatur yang telah dicapai selama pengujian berlangsung, digunakan termokopel sebagai sensor temperatur yang dipasang pada inlet dan outlet panel kolektor. Total termokopel yang digunakan berjumlah 9 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 3.6 Termokopel Screw In Type

5. Flowmeter

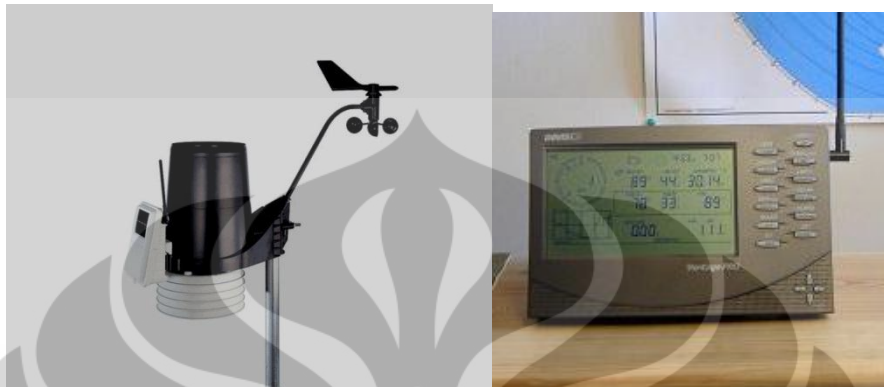
Pembacaan data debit aliran fluida menggunakan flowmeter analog dengan kapasitas aliran maksimum 1 lpm dan ketelitian pembacaan 0,1 lpm. Flowmeter ini dipasang pada aliran masuk rangkaian.



Gambar 3.7 Flowmeter

6. Weather Instrument

Besarnya irradiasi matahari, temperatur lingkungan dan kelembaban diukur dengan weather instrument merk Davis Vintage Pro 2.



Gambar 3.8. Weather Instrument Davis Vintage Pro 2

7. Kompas

Kompas yang digunakan pada percobaan adalah jenis kompas bidik. Kompas digunakan untuk menentukan arah mata angin.



Gambar 3.9 Kompas

3.4 PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data merupakan proses pengujian langsung peralatan uji dan mencatat parameter-parameter yang dibutuhkan seperti temperatur, irradiasi matahari dan debit aliran fluida kerja. Tempat pengujian 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 pengujian. Persiapan dan pengambilan data yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

1. Merubah arah solar kolektor sejajar dengan arah matahari (timur-barat)
2. Mengatur pembukaan dan penutupan katup sehingga menjadi rangkaian yang diinginkan.
3. Memastikan pemasangan kabel termokopel pada terminal dan indikator berfungsi dengan baik.
4. Periksa level ketinggian air pada tangki.
5. Memeriksa pompa dan menjalankan pompa 15 menit sebelum data temperatur diambil.
6. Pengambilan data temperatur dan irradiasi matahari setiap 5 menit.
7. Ulangi langkah no.2 sampai dengan no.7 untuk pengambilan arah solar kolektor tegak lurus dengan arah matahari (utara-selatan).

3.4.1 Data Lokasi Tempat

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

3.4.2 Data Irradiasi

Irradiasi matahari merupakan intensitas radiasi yang jatuh pada suatu area, data irradiasi diukur dengan menggunakan alat ukur cuaca *weateherlink* yang dipasang di gedung manufaktur departemen teknik mesin Universitas Indonesia.

3.4.3 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 air dicatat pada awal dan akhir pengujian. 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.

3.5. PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

Perhitungan dan pengolahan data didasarkan pada data-data hasil pengujian berupa data irradiansi matahari, data temperatur dan debit aliran air. Perhitungan ini menggunakan asumsi berupa:

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

3.5.1. Pengujian Arah Timur-Barat

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

- Nilai densitas air pada temperatur rata-rata air.
- Nilai panas spesifik air (C_p).
- Nilai debit air selama pengujian.
- Data temperatur masuk dan temperatur keluar dan air
- Data temperatur ambien.
- Data nilai irradiansi matahari
- Data luas plat absorber.

Dalam perhitungan data berikut ini, hanya ditampilkan contoh perhitungan efisiensi rangkaian seri dalam sekali pengambilan data selama 5 menit.

Contoh penghitungan:

Diketahui (data pada waktu temperatur keluar tertinggi pada tanggal 13 Juli 2012 pukul 11.35 WIB):

- Densitas air pada temperatur masuk selang waktu tertinggi $50-58\text{ }^{\circ}\text{C} = 870.2\text{ kg/m}^3$.
- Panas spesifik (C_p) pada temperatur selang waktu tertinggi $98\text{ }^{\circ}\text{C} = 2070\text{ J/kg.K}$.
- Debit aliran rangkaian(Q)= 0.4 lpm, didapatkan $\dot{m} = 5.8 \times 10^{-3}\text{ kg/s}$.
- Data temperatur masuk (T_1) = $58\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Data temperatur keluar (T_9) = $98\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Data temperatur ambien (T_a) = $31.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Data radiasi matahari (I) = 784 W/m^2 .
- Luas *aperture concentrator* (A_a) = $1.35 \times 2 = 2.7\text{ m}^2$.

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

Perhitungan:

$$Q_u = m c_p (T_{fo} - T_{fi})$$

$$Q_u = 5.8 \times 10^{-3} \times 2070 \times (98 - 58) = 480.24\text{ W}$$

Sehingga didapatkan efisiensi:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I}$$

$$\eta = \frac{480.24}{2.7 \times 784} = 22.68\%$$

Berikut ini adalah tabel nilai efisiensi total pada hasil pengujian:

Tabel 3.1 Tabel Efisiensi Arah Timur-Barat

Time	I.(W/m ²)	dT (oC)	efisiensi (%)	Time	I.(W/m ²)	dT (oC)	efisiensi (%)
10:00 AM	376	8	9,2	12:35 PM	858	32	16,2
10:05 AM	355	9	11,0	12:40 PM	810	34	18,2
10:10 AM	353	10	12,3	12:45 PM	793	35	19,2
10:15 AM	427	10	10,2	12:50 PM	728	32	19,1
10:20 AM	513	13	11,0	12:55 PM	247	34	59,7
10:25 AM	413	13	13,7	1:00 PM	276	29	45,6
10:30 AM	434	15	15,0	1:05 PM	761	30	17,1
10:35 AM	431	17	17,1	1:10 PM	749	25	14,5
10:40 AM	533	21	17,1	1:15 PM	738	39	22,9
10:45 AM	664	23	15,0	1:20 PM	782	26	14,4
10:50 AM	738	27	15,9	1:25 PM	664	25	16,3
10:55 AM	703	45	27,8	1:30 PM	725	35	20,9
11:00 AM	696	41	25,6	1:35 PM	675	24	15,4
11:05 AM	726	37	22,1	1:40 PM	671	28	18,1
11:10 AM	732	38	22,5	1:45 PM	708	33	20,2
11:15 AM	759	37	21,2	1:50 PM	675	27	17,4
11:20 AM	671	40	25,9	1:55 PM	675	27	17,4
11:25 AM	686	45	28,5	2:00 PM	629	37	25,5
11:30 AM	519	45	37,6	2:05 PM	646	30	20,2
11:35 AM	784	45	24,9	2:10 PM	606	38	27,2
11:40 AM	629	45	31,0	2:15 PM	501	41	35,5
11:45 AM	612	40	28,4	2:20 PM	631	37	25,4
11:50 AM	666	35	22,8	2:25 PM	575	35	26,4
11:55 AM	378	30	34,4	2:30 PM	571	36	27,4
12:00 PM	791	31	17,0	2:35 PM	611	28	19,9
12:05 PM	888	34	16,6	2:40 PM	559	26	20,2
12:10 PM	798	35	19,0	2:45 PM	522	23	19,1
12:15 PM	823	33	17,4	2:50 PM	487	20	17,8
12:20 PM	803	31	16,8	2:55 PM	531	27	22,1
12:25 PM	814	31	16,5	3:00 PM	508	16	13,7
12:30 PM	819	32	17,0				

3.5.2. Pengujian Arah Utara-Selatan

Dengan metode yang sama seperti pada pengujian searah dengan arah matahari, dilakukan perhitungan efisiensi dengan parameter yang berbeda sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tabel Efisiensi Utara-Selatan

Time	I (W/m ²)	dT (oC)	efisiensi (%)	Time	I (W/m ²)	dT (oC)	efisiensi (%)
10:00 AM	272	21	33,5	12:40 PM	780	32	17,8
10:05 AM	283	21	32,2	12:45 PM	253	35	60,0
10:10 AM	677	19	12,2	12:50 PM	673	33	21,3
10:15 AM	654	19	12,6	12:55 PM	759	44	25,2
10:20 AM	626	21	14,6	1:00 PM	793	44	24,1
10:25 AM	640	20	13,6	1:05 PM	724	36	21,6
10:30 AM	633	20	13,7	1:10 PM	749	24	13,9
10:35 AM	738	21	12,3	1:15 PM	621	28	19,6
10:40 AM	751	22	12,7	1:20 PM	278	17	26,5
10:45 AM	487	17	15,1	1:25 PM	762	16	9,1
10:50 AM	742	17	9,9	1:30 PM	773	39	21,9
10:55 AM	807	22	11,8	1:35 PM	744	34	19,8
11:00 AM	791	26	14,3	1:40 PM	735	42	24,8
11:05 AM	787	24	13,2	1:45 PM	726	35	20,9
11:10 AM	728	19	11,3	1:50 PM	670	46	29,8
11:15 AM	814	21	11,2	1:55 PM	689	45	28,3
11:20 AM	752	16	9,2	2:00 PM	668	44	28,6
11:25 AM	791	24	13,2	2:05 PM	603	37	26,6
11:30 AM	791	25	13,7	2:10 PM	207	23	48,2
11:35 AM	751	22	12,7	2:15 PM	207	23	48,2
11:40 AM	783	15	8,3	2:20 PM	229	15	28,4
11:45 AM	775	15	8,4	2:25 PM	573	23	17,4
11:50 AM	833	16	8,3	2:30 PM	588	29	21,4
11:55 AM	784	25	13,8	2:35 PM	615	35	24,7
12:00 PM	788	20	11,0	2:40 PM	638	36	24,5
12:05 PM	287	17	25,7	2:45 PM	608	37	26,4
12:10 PM	823	22	11,6	2:50 PM	499	40	34,8
12:15 PM	854	31	15,8	2:55 PM	487	30	26,7
12:20 PM	842	34	17,5	3:00 PM	464	17	15,9
12:25 PM	861	39	19,7				
12:30 PM	812	36	19,2				
12:35 PM	798	36	19,6				

3.5.3. Jarak Matahari-Bumi

Dengan menggunakan software didapat data jarak matahari-bumi pada tahun 2012 dan bulan Juli tahun 2012, dengan tabelnya sebagai berikut :

Tabel 3.3 Tabel Jarak-Matahari Tahun 2012

tahun	bulan	tanggal	jarak matahari-bumi	
			AU	Km
2012	januari	22	0,9841	147216604,9
	februari	22	0,9890	147945812,3
	maret	22	0,9964	149053191,7
	april	22	1,0051	150367563,9
	mei	22	1,0123	151432800,9
	juni	22	1,0163	152036327,5
	juli	22	1,0160	151994761,1
	agustus	22	1,0115	151315952,6
	september	22	1,0038	150165029
	oktober	22	0,9953	148889716,9
	nopember	22	0,9877	147762000,7
	desember	22	0,9837	147160535

Tabel 3.4 Tabel Jarak-Matahari Bulan Juli 2012

tahun	bulan	tanggal	jarak matahari-bumi		tahun	bulan	tanggal	jarak matahari-bumi	
			AU	Km				AU	Km
2012	JULI	1	1,0167	152091097,8	2012	JULI	17	1,0164	152045971,8
		2	1,0167	152093630,8			18	1,0163	152037122,9
		3	1,0167	152095449,3			19	1,0162	152027574,7
		4	1,0167	152096553			20	1,0162	152017329,8
		5	1,0167	152096941,5			21	1,0161	152006391
		6	1,0167	152096614,6			22	1,0160	151994761,1
		7	1,0167	152095572,6			23	1,0159	151982443,3
		8	1,0167	152093815,7			24	1,0159	151969440,8
		9	1,0167	152091344,2			25	1,0158	151955757,3
		10	1,0167	152088159			26	1,0157	151941396,4
		11	1,0166	152084260,9			27	1,0156	151926361,9
		12	1,0166	152079650,8			28	1,0155	151910657,8
		13	1,0166	152074330,1			29	1,0153	151894288,5
		14	1,0165	152068300,1			30	1,0152	151877258,3
		15	1,0165	152061562,5			31	1,0151	151859571,8
		16	1,0164	152054119,1					

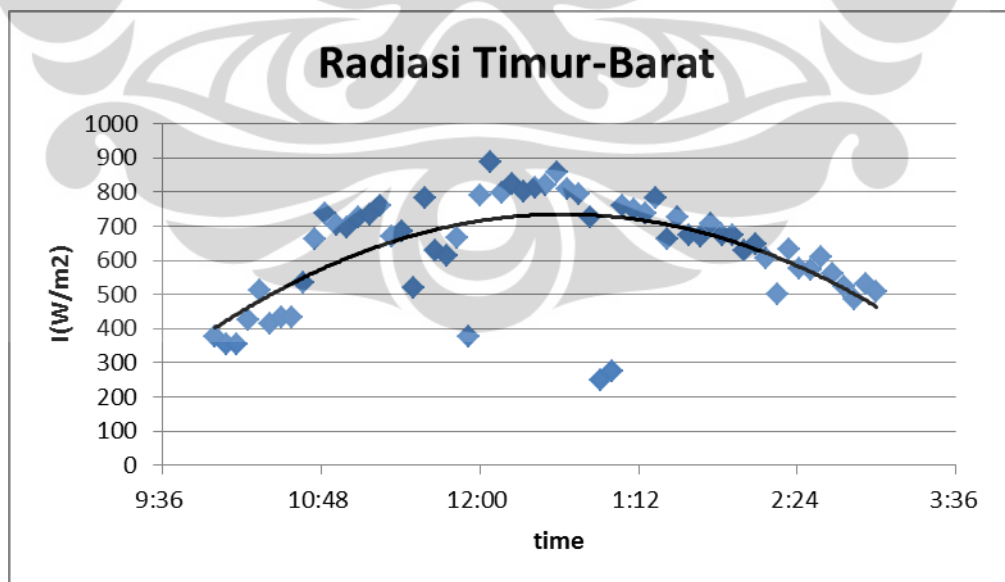
BAB 4

ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

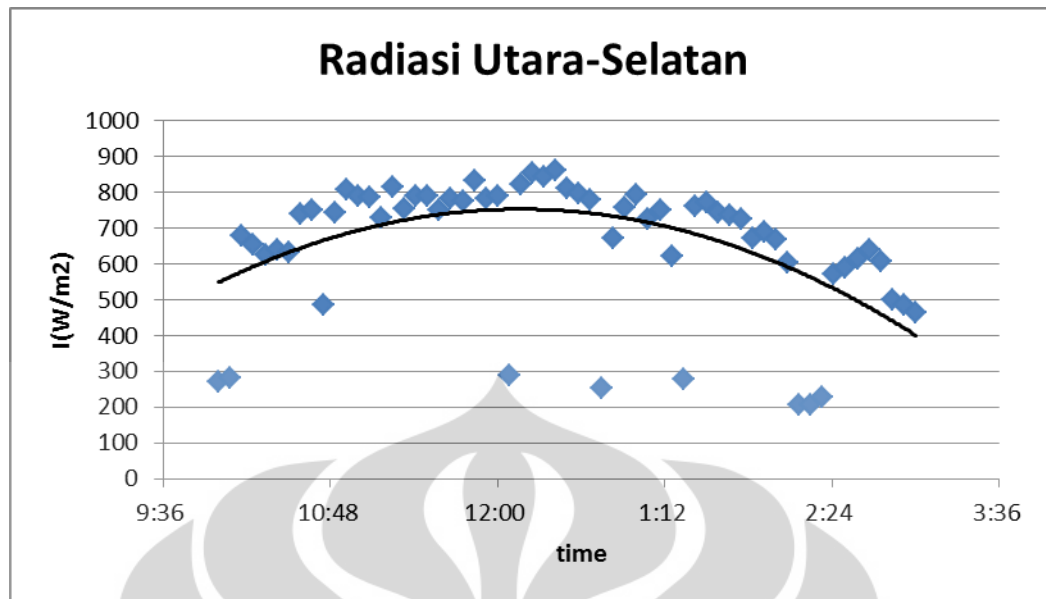
Setelah melakukan perhitungan dan pengolahan data, Terdapat perbedaan karakteristik efisiensi yang dicapai dengan variasi pengujian. Dengan demikian analisis yang dilakukan adalah bukan membandingkan besaran atau nilai yang dicapai oleh masing-masing metode, tetapi akan dilihat dan pola atau tren yang ada. Berdasarkan hasil yang ada, setiap memiliki pola atau tren yang sama terhadap teori tentang karakteristik efisiensi termal dan kolektor surya.

4.1. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN RADIASI

Dari hasil pengujian radiasi matahari dari pukul 10.00 samapai 15.00 dibuat grafik radiasi tiap waktunya. Dengan metode *least square* dibuat *trendline* dari grafik radiasi yang kami dapat dari pengukuran. Selama pengujian dilakukan, radiasi sangat berfluktuasi tiap detiknya. Dengan pencatatan data radiasi setiap 5 menit sesungguhnya tidak cukup baik untuk mempresentasikan situasi sesungguhnya. Untuk data yang lebih aktual seharusnya digunakan pencatatan sistem data akusisi.



Gambar 4.1. Grafik radiasi arah timur-barat



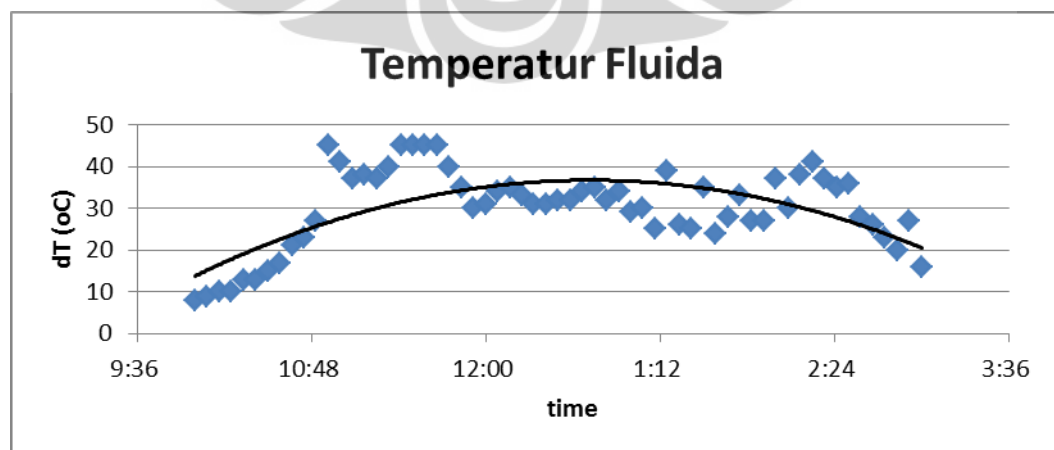
Gambar 4.2. Grafik radiasi arah utara-selatan

Dari grafik radiasi hasil pengujian di atas, dapat dilihat bahwa hasil pengukuran radiasi sangat bervariasi namun memiliki kecenderungan yang sama. Radiasi maksimum berkisar pada pukul 12 seperti pada grafik di atas.

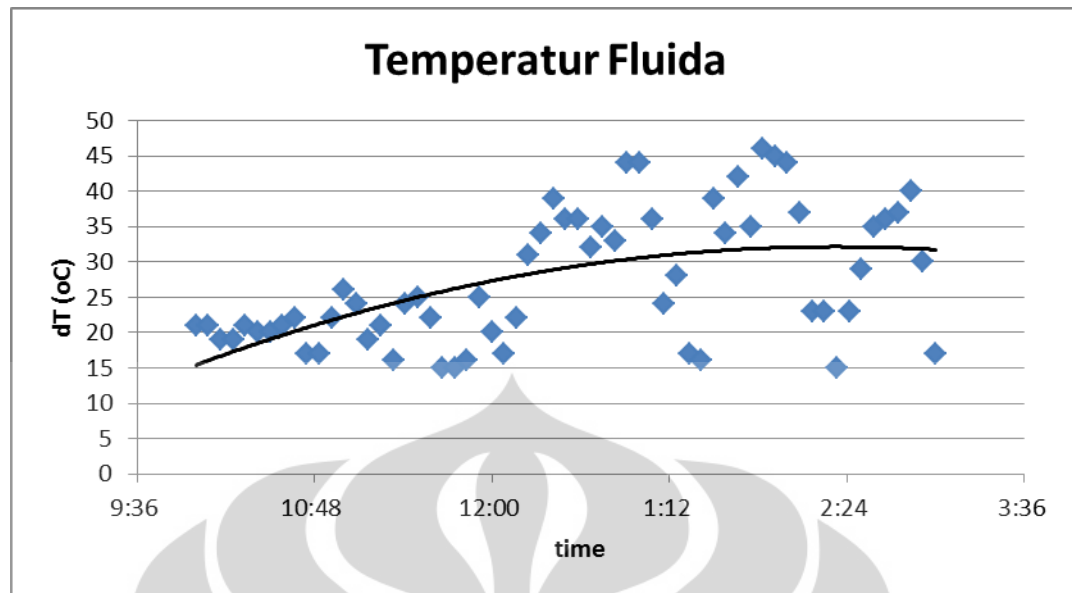
4.2. TEMPERATUR FLUIDA

Untuk memudahkan dalam menganalisa hasil temperatur ini maka dibuat grafik antara perbedaan temperatur masuk dan keluar terhadap waktu. Seperti halnya data radiasi, data temperatur dicatat tiap 5 menit.

Selama pengambilan dan pengujian, temperatur output tertinggi yang pernah dicapai adalah 98 °C atau beda temperatur keluar dan masuk sebesar 45 °C pada pengujian utara-selatan tracking. Berikut ini adalah grafik-grafik dari tiap pengujian.



Gambar 4.3. Grafik temperatur fluida arah timur-barat

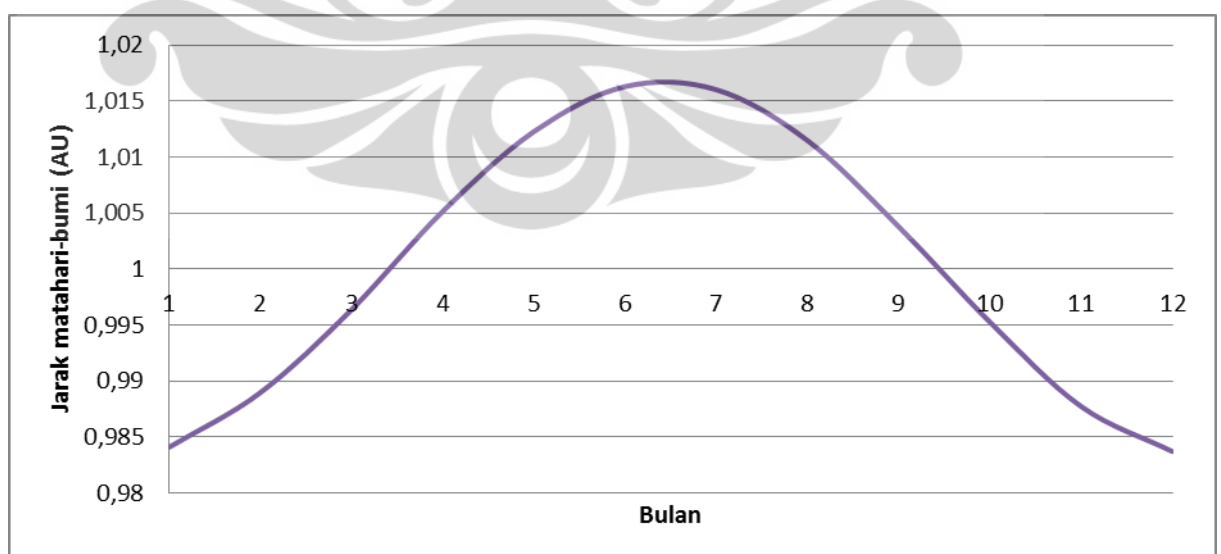


Gambar 4.4. Grafik temperatur fluida arah utara-selatan

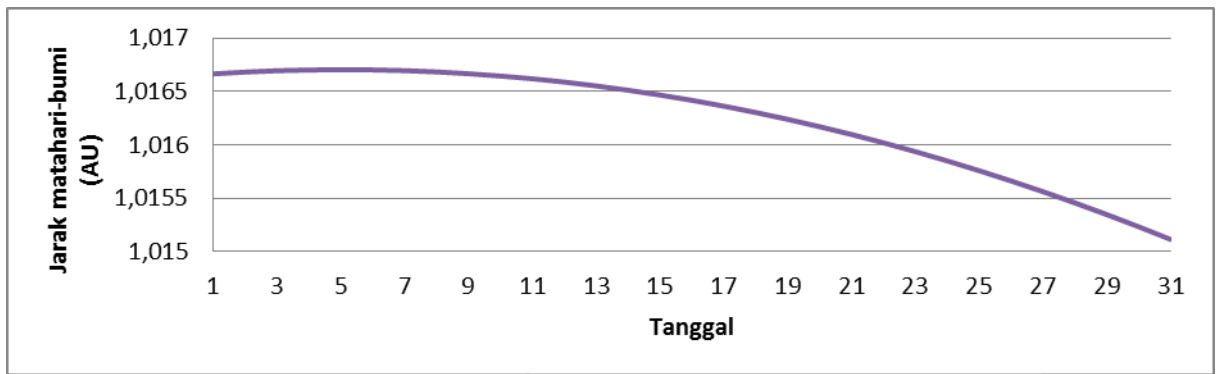
Dari grafik beda temperatur di atas terlihat bahwa grafik temperatur pada utara-selatan (gambar 4.4) dan timur-barat (gambar 4.3) menunjukkan trendline yang serupa dengan grafik radiasi matahari, ini berarti beda temperatur pada kedua pengujian dipengaruhi oleh radiasi matahari.

4.3. JARAK MATAHARI-BUMI

Pada pengujian juga didapat data jarak matahari-bumi dengan menggunakan software, grafik jarak matahari-bumi pada tahun 2012 dan bulan Juli 2012 dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 .



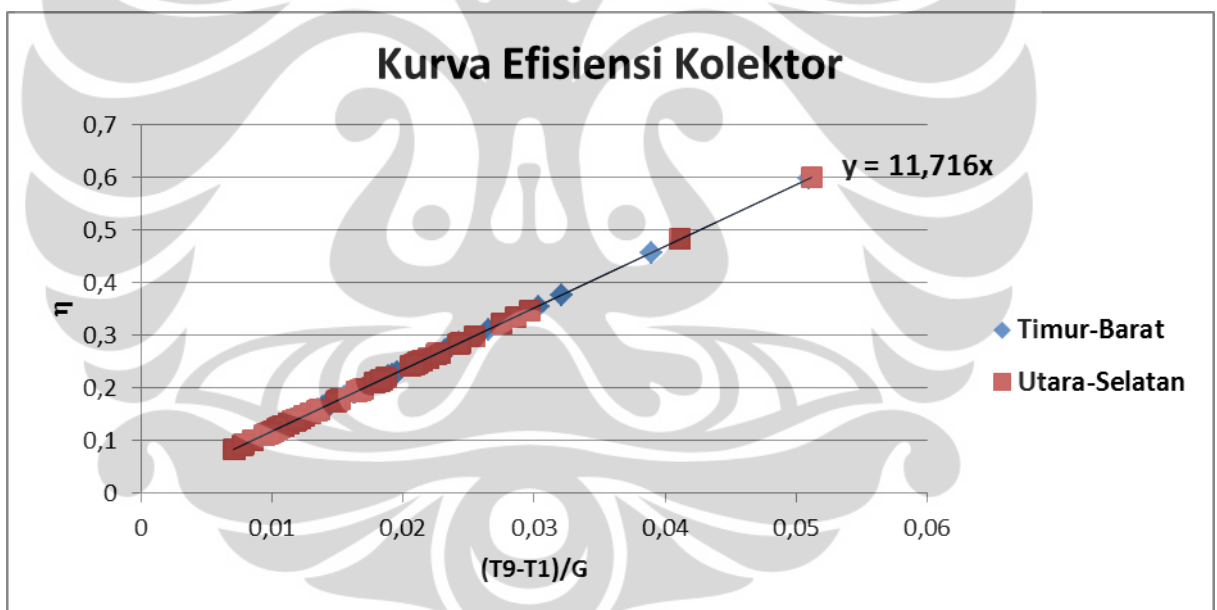
Gambar 4.5. Grafik jarak matahari-bumi tahun 2012



Gambar 4.6. Grafik jarak matahari-bumi bulan Juli 2012

Dari grafik diatas bisa dilihat bahwa untuk khusus pengujian timur-barat perubahan sudut dari kolektor harus dirubah setiap 15 hari sekali karena pada hari ke 15 jarak matahari ke bumi mulai cenderung mulai berubah secara signifikan yang dimana pada hari ke 15 memiliki jarak 1,016467884 AU atau 152061562,5 KM.

4.4. KARAKTERISTIK EFISIENSI PENGUJIAN



Gambar 4.7. Kurva efisiensi kolektor

Besarnya nilai karakteristik efisiensi yang diambil pada saat pengujian bervariasi. Untuk pengujian utara-selatan tracking, rata-rata karakteristik efisiensi bervariasi antara 5% s.d. 36% dan pengujian timur-barat tracking, rata-rata karakteristik antara 1% s.d. 60%. Dengan pengolahan data secara least square, didapatkan persamaan efisiensi yaitu $y = 11.716x$.

Grafik di atas menunjukkan sebaran data yang terdistribusi dalam daerah jangkauan yang cukup sempit, hal ini berkaitan dengan penyederhanaan perhitungan. Apabila dilakukan perhitungan efisiensi setiap parabolik, maka data yang dihasilkan akan menjadi lebih besar sebarannya. Namun demikian, pola yang terjadi adalah sama pada sebaran data yang ada dimana karakteristik efisiensi memiliki kemiringan positif pada setiap pengujian. Dan pengujian memiliki rata-rata efisiensi yang tidak jauh berbeda antara utara-selatan dan timur barat yaitu 20% dan 21%.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Studi lanjutan mengenai pengujian dan analisis timur-barat tracking dan utara-selatan tracking pada *parabolic through collector* memiliki kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengujian arah timur-barat dan utara-selatan memiliki kesamaan pola trendline pada radiasi matahari.
2. Pengujian arah timur-barat dan utara-selatan memiliki kecenderungan trendline temperatur yang sama dengan trendline radiasi matahari berarti temperatur fluida berpengaruh akibat radiasi matahari
3. Pola trendline efisiensi pada pengujian memiliki kecenderungan yang sama yaitu dimana karakteristik efisiensi memiliki kemiringan positif dengan persamaan $y = 11.71x$.
4. Rata-rata efisiensi arah timur-barat dan utara-selatan tidak terlalu berbeda secara signifikan yaitu 21% dan 20%.
5. Pengujian pada arah timur-barat kolektor harus dirubah setiap 15 hari sekali.

5.2. SARAN

1. Perlu pengembangan lebih lanjut dalam hal desain untuk meningkatkan kehandalan peralatan.
2. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan pengecekan dan dokumentasi peralatan sebelum dan setelah pengujian sehingga dapat diketahui lebih dalam lagi dampak yang terjadi terhadap komponen dan hasil penelitian yang lebih baik.
3. Perbaiki serta penambahan variable pengukuran untuk lebih mempertajam hasil analisis penulisan.
4. Faktor ketelitian dan kehati-hatian perlu di perhatikan dalam merangkai alat, karena pada tiap sambungan antar bagian rentan terhadap kebocoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Edward E. 1983, *Fundamentals of Solar Energy Conversion*, USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- B. Meinel, Aden dan Marjorie P. Meinel. 1979, *Applied Solar Energy An Introduction*, USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Beckman, William A. dan John A. Duffie. 1980, *Solar Engineering of Thermal Processes*, USA : Willey Interscience.
- Incopera, Frank P. dan David P. Dewitt. 2002, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Fifth Edition*, Singapore: John Wiley & Sons Pte. Ltd.
- Koestoer, Raldi Artono. 2005, *Pengukuran Teknik Untuk Mahasiswa*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- L. Threlkeld, James. 1970, *Thermal Environmental Engineering*, USA: Prentice-Hall, Inc..
- Purnama, Yulianto. 2006, *Perancangan dan Pengujian Parabolic Solar Concentrator*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



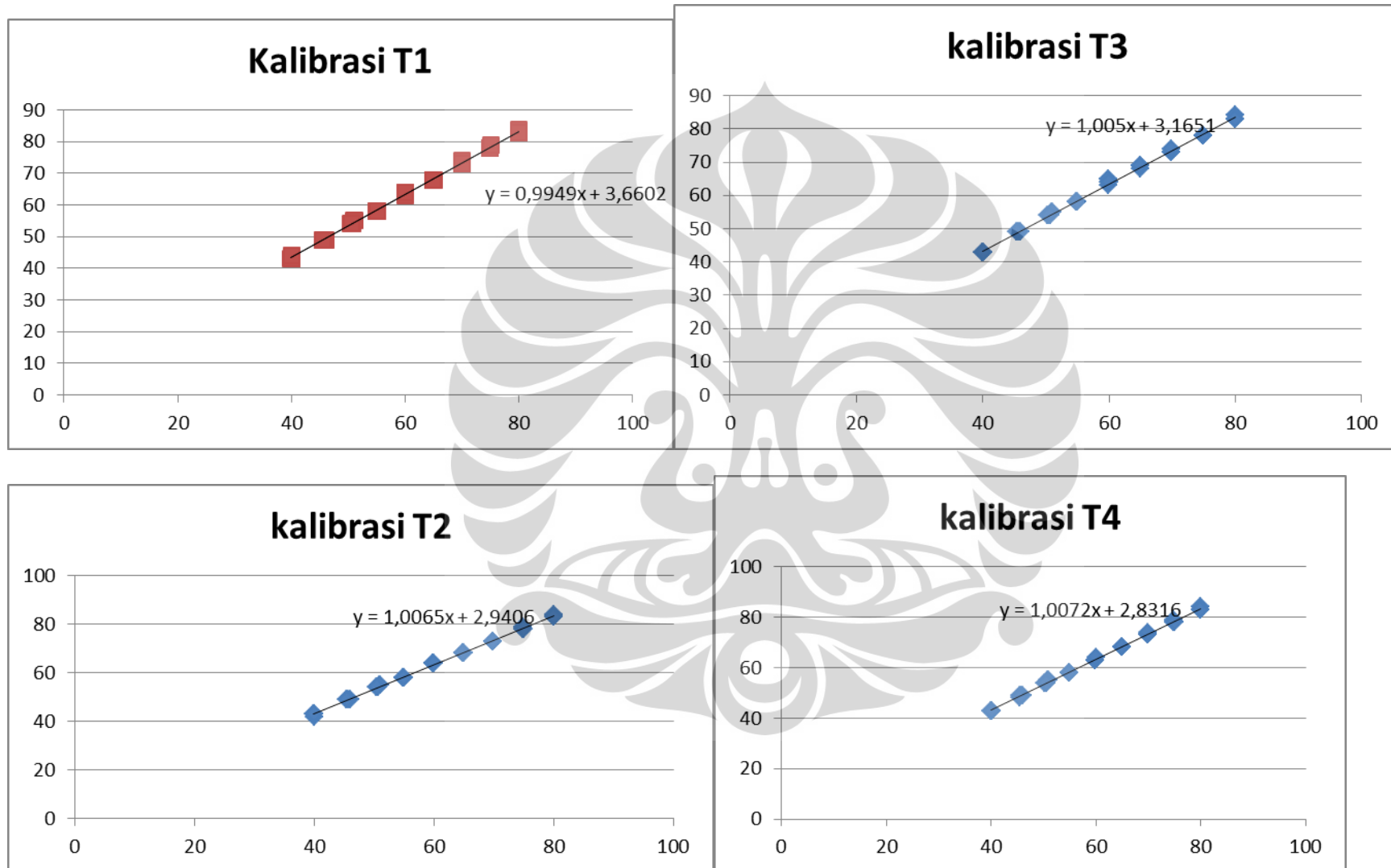
LAMPIRAN

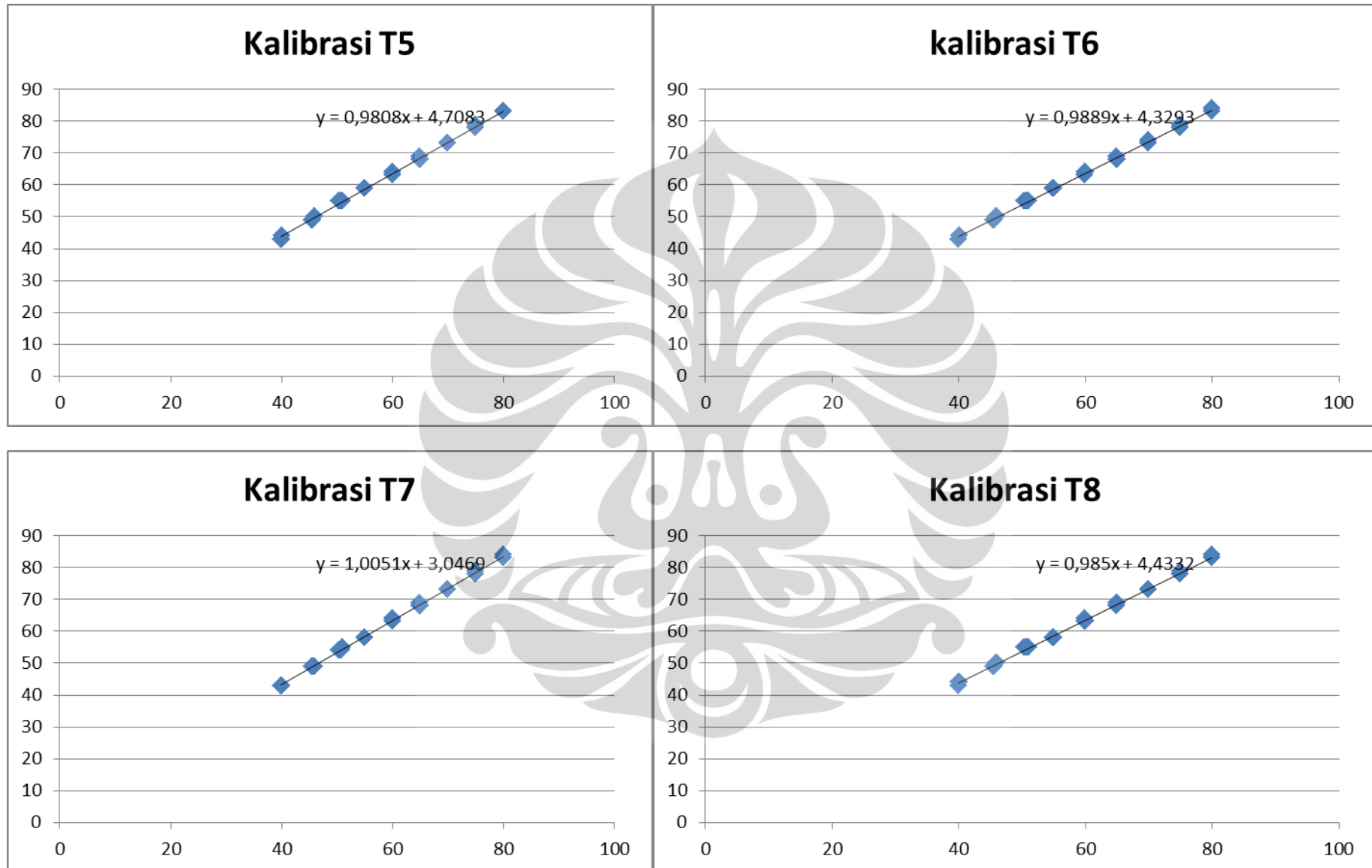
DATA VERIFIKASI TERMOKOPEL

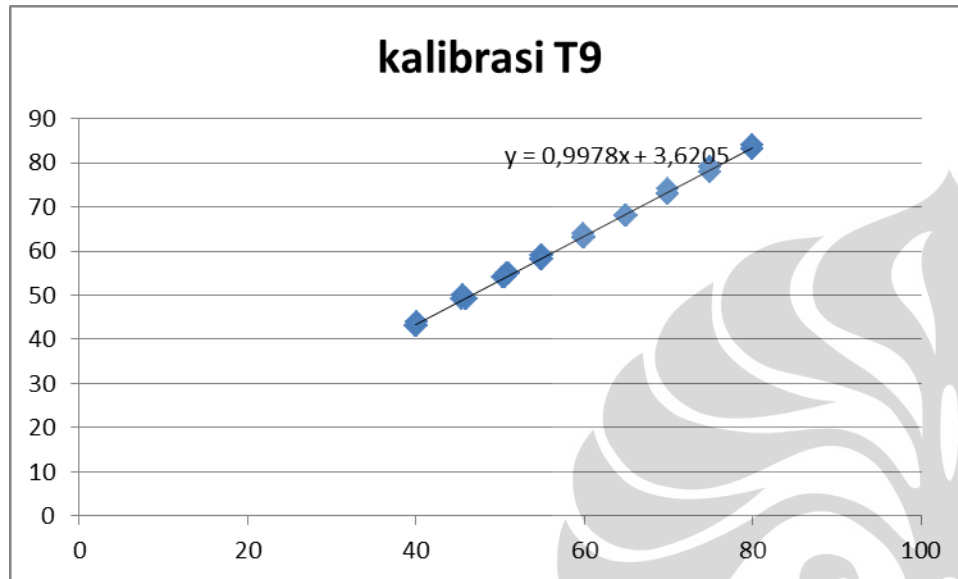
	To	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
40	39,9	43	43	43	43	43	43	43	43	43
	40	43	42	43	43	43	43	43	44	43
	40,1	43	43	43	43	43	44	43	44	44
	40,1	44	43	43	43	44	44	43	44	43
	40,1	44	43	43	43	44	44	43	44	44
45	46	49	49	49	49	50	50	49	50	49
	45,9	49	49	49	49	50	50	49	50	49
	45,6	49	49	49	49	49	49	49	49	50
	45,4	49	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

	To	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
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

GRAFIK VERIFIKASI TERMOKOPEL







DATA RADIASI DAN TEMPERATUR UTARA-SELATAN

Date	Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Temp Out	Out Hum	Solar Rad.
13/06/2012	10:00 AM	34	41	42	40	37	43	44	46	42	28,4	77	376
13/06/2012	10:05 AM	35	43	44	41	38	44	45	47	44	28,6	75	355
13/06/2012	10:10 AM	35	46	46	44	39	45	46	49	45	28,5	75	353
13/06/2012	10:15 AM	36	47	48	45	40	46	47	50	46	28,6	75	427
13/06/2012	10:20 AM	35	48	49	47	41	49	50	53	48	28,8	75	513
13/06/2012	10:25 AM	36	49	50	49	41	50	50	53	49	29	74	413
13/06/2012	10:30 AM	36	49	50	49	41	51	50	53	51	29	74	434
13/06/2012	10:35 AM	35	52	52	50	41	47	50	53	52	29,6	74	431
13/06/2012	10:40 AM	36	49	48	45	42	47	50	55	57	29,7	71	533
13/06/2012	10:45 AM	38	47	48	46	44	47	51	57	61	29,5	71	664
13/06/2012	10:50 AM	38	53	53	49	48	60	63	69	65	29,7	72	738
13/06/2012	10:55 AM	37	56	56	52	49	70	77	85	82	29,7	71	703
13/06/2012	11:00 AM	40	57	57	52	48	63	69	81	81	29,8	72	696
13/06/2012	11:05 AM	40	62	65	59	50	65	67	77	77	30,3	70	726
13/06/2012	11:10 AM	41	65	67	61	52	77	80	85	79	30,5	69	732
13/06/2012	11:15 AM	50	67	71	64	63	79	83	92	87	30,6	68	759
13/06/2012	11:20 AM	52	65	67	63	63	82	86	94	92	30,8	67	671
13/06/2012	11:25 AM	49	72	75	70	69	85	88	95	94	31	67	686
13/06/2012	11:30 AM	48	73	79	74	70	88	90	93	93	31,1	68	519
13/06/2012	11:35 AM	58	70	74	71	70	89	92	98	98	31,1	68	784
13/06/2012	11:40 AM	48	58	59	58	60	74	77	88	93	31,4	66	629
13/06/2012	11:45 AM	46	56	56	56	58	70	73	81	86	31,2	66	612
13/06/2012	11:50 AM	44	56	56	56	49	68	70	76	79	31,4	65	666
13/06/2012	11:55 AM	43	55	55	55	47	67	70	73	73	31,7	65	378
13/06/2012	12:00 PM	44	60	60	60	48	70	73	75	72	31,8	60	791

13/06/2012	12:05 PM	45	69	69	69	50	77	82	83	77	31,8	61	888
13/06/2012	12:10 PM	46	70	71	69	52	79	84	86	81	31,9	61	798
13/06/2012	12:15 PM	48	74	74	71	53	80	85	80	81	32,2	59	823
13/06/2012	12:20 PM	52	80	79	75	50	79	85	84	80	32,2	58	803
13/06/2012	12:25 PM	49	73	73	68	47	73	77	83	75	31,9	59	814
13/06/2012	12:30 PM	53	86	80	75	49	75	81	86	76	32,1	59	819
13/06/2012	12:35 PM	55	91	82	77	49	78	84	88	76	32,3	59	858
13/06/2012	12:40 PM	56	91	83	77	50	77	84	86	76	32,4	58	810
13/06/2012	12:45 PM	58	98	83	76	50	79	86	89	77	32,6	59	793
13/06/2012	12:50 PM	54	90	83	76	48	79	85	84	70	32,3	59	728
13/06/2012	12:55 PM	50	63	64	59	42	64	68	75	69	32,1	60	247
13/06/2012	1:00 PM	48	59	61	57	47	62	67	73	69	32,1	58	276
13/06/2012	1:05 PM	50	61	67	61	48	66	72	79	72	32,3	60	761
13/06/2012	1:10 PM	54	66	73	65	48	70	76	75	70	32,3	58	749
13/06/2012	1:15 PM	55	67	75	66	49	71	77	88	76	32,6	58	738
13/06/2012	1:20 PM	52	65	74	65	48	70	77	74	75	32,8	58	782
13/06/2012	1:25 PM	52	65	74	65	48	70	77	74	70	32,6	57	664
13/06/2012	1:30 PM	47	53	57	52	46	59	65	83	70	32,6	57	725
13/06/2012	1:35 PM	52	57	64	58	48	61	63	70	61	32,7	55	675
13/06/2012	1:40 PM	51	59	69	61	49	65	68	75	66	32,5	57	671
13/06/2012	1:45 PM	55	65	77	66	49	68	71	81	69	32,7	56	708
13/06/2012	1:50 PM	52	53	56	56	48	59	65	75	64	32,9	53	675
13/06/2012	1:55 PM	49	55	60	64	48	67	71	76	63	33,1	53	675
13/06/2012	2:00 PM	44	51	55	58	49	72	76	81	68	32,8	53	629
13/06/2012	2:05 PM	44	54	59	63	48	76	82	87	74	32,8	53	646
13/06/2012	2:10 PM	43	52	55	60	48	76	82	91	81	32,7	54	606
13/06/2012	2:15 PM	42	50	53	59	48	74	79	93	83	32,6	54	501
13/06/2012	2:20 PM	45	55	60	71	49	74	80	94	82	32,7	54	631
13/06/2012	2:25 PM	46	56	60	70	48	74	78	94	81	32,9	56	575

13/06/2012	2:30 PM	41	46	48	53	46	71	72	88	77	32,9	54	571
13/06/2012	2:35 PM	43	46	47	51	46	65	67	83	71	32,8	55	611
13/06/2012	2:40 PM	43	47	47	52	45	61	62	76	69	32,8	55	559
13/06/2012	2:45 PM	43	50	51	56	46	60	61	73	66	32,8	54	522
13/06/2012	2:50 PM	44	49	50	52	45	59	59	69	64	32,9	53	487
13/06/2012	2:55 PM	41	45	45	46	45	58	58	67	68	33	55	531
13/06/2012	3:00 PM	42	44	45	45	45	54	55	66	58	32,8	56	508

DATA RADIASI DAN TEMPERATUR ARAH TIMUR-BARAT

Date	Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	Temp Out	Out Hum	Solar Rad.
14/06/2012	10:00 AM	32	43	48	49	41	64	56	56	53	29,8	72	272
14/06/2012	10:05 AM	33	44	49	50	42	65	57	57	54	30,1	72	283
14/06/2012	10:10 AM	42	63	48	53	44	55	68	73	61	29,9	71	677
14/06/2012	10:15 AM	41	62	47	52	43	54	67	72	60	30	71	654
14/06/2012	10:20 AM	38	49	54	55	47	70	62	62	59	29,9	72	626
14/06/2012	10:25 AM	41	62	47	52	43	54	67	72	61	29,9	71	640
14/06/2012	10:30 AM	45	48	53	52	50	67	75	76	65	30	70	633
14/06/2012	10:35 AM	47	51	57	57	51	69	76	79	68	30,2	69	738
14/06/2012	10:40 AM	53	50	55	58	68	67	69	74	75	30	69	751
14/06/2012	10:45 AM	48	46	50	51	52	66	69	72	65	29,9	70	487
14/06/2012	10:50 AM	49	45	49	50	55	67	69	71	66	30,3	69	742
14/06/2012	10:55 AM	49	49	58	60	58	76	89	85	71	31	68	807
14/06/2012	11:00 AM	55	53	62	60	61	75	79	84	81	31,4	66	791
14/06/2012	11:05 AM	61	60	68	65	58	74	75	79	85	31,7	66	787
14/06/2012	11:10 AM	61	63	68	65	64	71	70	74	80	31,9	65	728
14/06/2012	11:15 AM	64	73	88	87	59	80	92	91	85	31,4	62	814

14/06/2012	11:20 AM	68	73	90	85	62	82	88	87	84	32,2	62	752
14/06/2012	11:25 AM	55	46	49	48	57	59	66	73	79	32,1	61	791
14/06/2012	11:30 AM	54	50	54	56	58	68	80	79	79	31,7	60	791
14/06/2012	11:35 AM	56	51	56	55	55	61	65	69	78	31,7	62	751
14/06/2012	11:40 AM	57	52	59	59	57	67	73	80	72	31,5	63	783
14/06/2012	11:45 AM	55	50	55	51	57	66	69	75	70	32,1	60	775
14/06/2012	11:50 AM	57	51	59	60	52	69	72	78	73	31,7	60	833
14/06/2012	11:55 AM	60	54	63	70	65	78	90	93	85	31,6	60	784
14/06/2012	12:00 PM	60	47	53	53	64	64	72	86	80	31,8	59	788
14/06/2012	12:05 PM	57	47	50	51	57	57	64	71	74	31,7	60	287
14/06/2012	12:10 PM	55	53	60	59	60	66	81	85	77	31,8	60	823
14/06/2012	12:15 PM	56	52	60	59	60	69	76	92	87	32,2	56	854
14/06/2012	12:20 PM	54	53	62	63	61	72	85	92	88	32,2	57	842
14/06/2012	12:25 PM	54	54	62	64	61	70	78	96	93	32,6	53	861
14/06/2012	12:30 PM	51	58	70	68	58	77	88	98	87	32,8	55	812
14/06/2012	12:35 PM	50	58	70	68	58	78	89	98	86	32,6	55	798
14/06/2012	12:40 PM	47	55	64	66	54	69	76	88	79	33	54	780
14/06/2012	12:45 PM	44	53	62	66	54	75	85	86	79	32,8	53	253
14/06/2012	12:50 PM	44	53	63	66	58	80	85	93	77	32,9	55	673
14/06/2012	12:55 PM	44	52	61	63	61	82	91	102	88	32,7	54	759
14/06/2012	1:00 PM	48	51	58	62	60	77	90	103	92	32,6	54	793
14/06/2012	1:05 PM	46	46	49	52	52	64	71	85	82	32,8	55	724
14/06/2012	1:10 PM	46	50	53	54	56	66	76	82	70	32,7	54	749
14/06/2012	1:15 PM	47	51	54	55	50	62	71	86	75	32,7	53	621
14/06/2012	1:20 PM	50	46	46	45	49	49	52	59	67	32,7	52	278
14/06/2012	1:25 PM	52	54	56	54	56	62	74	77	68	32,7	53	762
14/06/2012	1:30 PM	49	54	58	57	56	68	80	91	88	33,2	52	773
14/06/2012	1:35 PM	49	51	54	56	54	64	70	93	83	33,9	50	744
14/06/2012	1:40 PM	49	55	62	65	56	71	86	99	91	33,7	50	735

14/06/2012	1:45 PM	50	51	59	61	60	71	75	88	85	33,9	51	726
14/06/2012	1:50 PM	49	54	62	65	56	75	88	102	95	33,9	51	670
14/06/2012	1:55 PM	48	52	59	61	58	73	83	98	93	33,9	52	689
14/06/2012	2:00 PM	49	51	55	56	58	71	82	96	93	33,6	49	668
14/06/2012	2:05 PM	51	53	57	59	55	66	74	86	88	33,4	51	603
14/06/2012	2:10 PM	50	52	55	57	52	64	71	76	73	33,7	49	207
14/06/2012	2:15 PM	50	51	54	55	51	59	63	70	73	33,4	49	207
14/06/2012	2:20 PM	48	48	48	49	46	51	54	59	63	33,2	49	229
14/06/2012	2:25 PM	51	54	57	60	54	63	72	78	74	33	51	573
14/06/2012	2:30 PM	52	56	60	60	53	66	71	80	81	33,3	50	588
14/06/2012	2:35 PM	51	57	62	64	55	70	81	90	86	33,6	50	615
14/06/2012	2:40 PM	50	58	63	61	54	70	76	86	86	34	48	638
14/06/2012	2:45 PM	50	59	60	59	51	68	76	88	87	34,3	47	608
14/06/2012	2:50 PM	48	60	64	62	49	70	80	91	88	34,2	47	499
14/06/2012	2:55 PM	49	58	58	59	50	65	70	79	79	34,2	45	487
14/06/2012	3:00 PM	50	60	65	62	51	71	79	84	67	34,1	46	464