

**PENGARUH JUMLAH CERMIN REFLEKTOR (*FRESNEL*)
TERHADAP KINERJA PEMANAS AIR TENAGA SURYA TIPE
*CYLINDRICAL PARABOLIC COLLECTOR***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

SANDI WINOTO SAREH

NIM. 0710620015-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH JUMLAH CERMIN REFLEKTOR (*FRESNEL*) TERHADAP KINERJA PEMANAS AIR TENAGA SURYA TIPE *CYLINDRICAL PARABOLIC COLLECTOR*

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
SANDI WINOTO SAREH
NIM. 0710620015-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH JUMLAH CERMIN REFLEKTOR (*FRESNEL*) TERHADAP KINERJA PEMANAS AIR TENAGA SURYA TIPE *CYLINDRICAL PARABOLIC COLLECTOR*

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :
SANDI WINOTO SAREH
NIM. 0710620015-62

Skripsi telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 7 agustus 2012

Penguji 1

Penguji 2

Ir. Suharto, MT.
19531030 198212 1 001

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D
19470330 198002 1 001

Komprehensif

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
19701017 199802 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi ST., MT.
19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor (*Fresnel*) Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Surya Tipe *Cylindrical Parabolic Collector*” ini dapat terselesaikan.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT., dan Ibu Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST.,MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan masukan serta meluangkan waktu untuk berdiskusi selama penyusunan skripsi ini.
4. Keluarga tercinta, Ibu Faridhoh dan Bapak Muhamad Munadjat serta kedua kakakku Nurani Abdika dan Argo Adhyaksa.
5. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Mesin.
6. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin serta Fakultas Teknik.
7. Keluarga besar X-Treme M07, Divisi Otomasi dan Robotika, Divisi Aerokreasi, Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Lab. Surya dan Energi Alternatif dan KBMM.
8. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu per satu atas berbagai bantuan dan doa dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi terbentuknya penulisan skripsi yang baik. Tidak ada yang sempurna dalam setiap karya manusia, tapi justru itulah yang membuat manusia berpikir untuk menghasilkan karya yang lebih baik. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

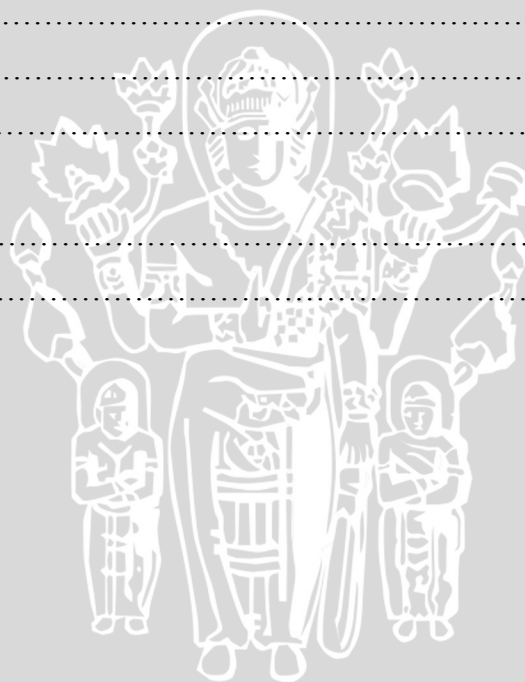
Malang, Juli 2012

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
RINGKASAN.....	x
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 6
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	6
2.2 Radiasi Matahari.....	6
2.3 Pemantulan Cahaya.....	11
2.3.1 Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar.....	12
2.3.2 Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung.....	12
2.4 Kolektor Tenaga Surya dengan Sistem <i>Full Tracking</i>	14
2.5 Kolektor Terkonsentrasi dan Prinsip Kerjanya.....	16
2.6 Hipotesis.....	21
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 22
3.1 Metode Penelitian.....	22
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	22
3.3 Variabel Penelitian.....	22
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian.....	23
3.5 Skema Instalasi Penelitian.....	26
3.6 Prosedur Penelitian.....	27

3.7 Diagram Alir Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Perhitungan Parameter Penelitian.....	29
4.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian.....	35
4.3 Grafik dan Pembahasan.....	38
4.3.1. Grafik Jumlah Daya yang Mampu Diserap oleh Kolektor.....	38
4.3.2. Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor pada Kolektor Terhadap Suhu Pemanasan Air dan Jumlah Kalor Pemanasan Air.....	40
4.3.3. Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor pada Kolektor terhadap Efisiensi <i>Cylindrical Parabolic Collector</i>	43
BAB V PENUTUP.....	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	51



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Jumlah nilai hari pada bulan tertentu (n) untuk kurun waktu satu tahun	7
Tabel 2.2	Reflektifitas cermin	17
Tabel 2.3	Reflektifitas alumunium foil	17
Tabel 2.4	Properti material pipa <i>receiver</i>	18
Tabel 4.1	Data parameter penelitian	32
Tabel 4.2	Input data penelitian	33
Tabel 4.3	Data hasil penelitian	36
Tabel L1	Data parameter penelitian 1	51
Tabel L2	Input Data Penelitian 1	52
Tabel L3	Data Hasil Penelitian 1	53
Tabel L4	Data parameter penelitian 2	54
Tabel L5	Input Data Penelitian 2	55
Tabel L6	Data Hasil Penelitian 2	56
Tabel L7	Data parameter penelitian 3	57
Tabel L8	Input Data Penelitian 3	58
Tabel L9	Data Hasil Penelitian 3	59
Tabel L10	Data parameter penelitian 4	60
Tabel L11	Input Data Penelitian 4	61
Tabel L12	Data Hasil Penelitian 4	62
Tabel L13	Data parameter penelitian 5	63
Tabel L14	Input Data Penelitian 5	64
Tabel L15	Data Hasil Penelitian 5	65
Tabel L16	Data parameter penelitian 6	66
Tabel L17	Input Data Penelitian 6	67
Tabel L18	Data Hasil Penelitian 6	68
Tabel L19	Data parameter penelitian 7	69
Tabel L20	Input Data Penelitian 7	70
Tabel L21	Data Hasil Penelitian 7	71
Tabel L22	Data parameter penelitian 8	72

Tabel L23	Input Data Penelitian 8	73
Tabel L24	Data Hasil Penelitian 8	74
Tabel L25	Data parameter penelitian 9	75
Tabel L26	Input Data Penelitian 9	76
Tabel L27	Data Hasil Penelitian 9	77
Tabel L28	Data parameter penelitian 10	78
Tabel L29	Input Data Penelitian 10	79
Tabel L30	Data Hasil Penelitian 10	80
Tabel L31	Data parameter penelitian 11	81
Tabel L32	Input Data Penelitian 11	82
Tabel L33	Data Hasil Penelitian 11	83
Tabel L34	Data parameter penelitian 12	84
Tabel L35	Input Data Penelitian 12	85
Tabel L36	Data Hasil Penelitian 12	86
Tabel L37	Sifat fisik air	87
Tabel L38	Nilai absorptivitas material	88



DAFTAR GAMBAR

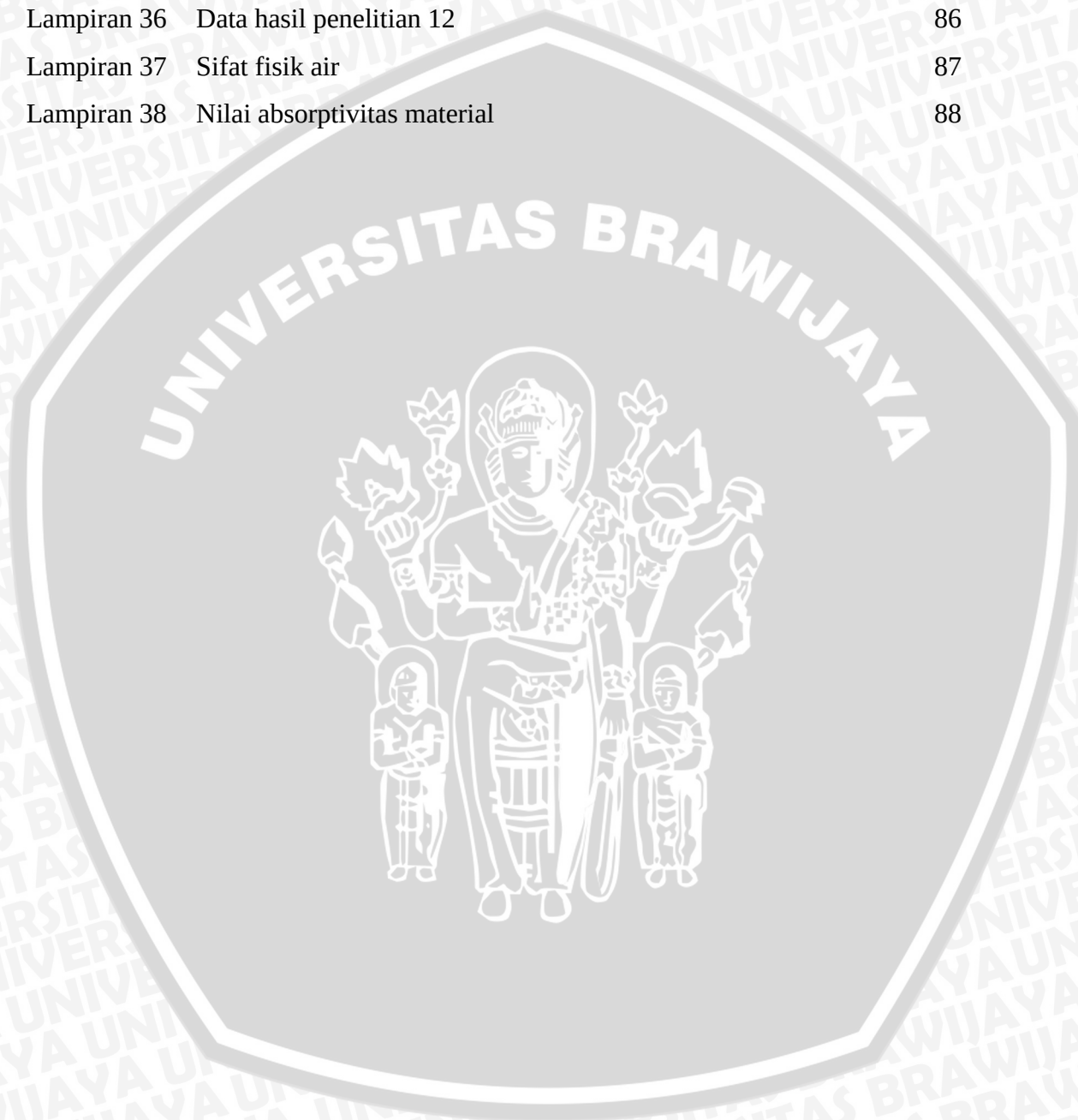
No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Data intensitas radiasi matahari	1
Gambar 1.2	Data kondisi awan	2
Gambar 1.3	Radiasi total matahari harian pada daerah khatulistiwa	2
Gambar 1.4	Pemanas air <i>thermosyphon</i> tipe <i>flat-plate collector</i>	3
Gambar 1.5	Pemanas air tenaga surya tipe <i>cylindrical parabolic collector</i>	3
Gambar 2.1	Pemanas air tenaga surya tipe <i>cylindrical parabolic collector</i>	6
Gambar 2.2	Pergerakan harian matahari dari terbit hingga terbenam	9
Gambar 2.3	Konfigurasi sudut datang radiasi pada bidang kolektor	10
Gambar 2.4	Pemantulan teratur dan pemantulan baur	11
Gambar 2.5	Hukum snellius	12
Gambar 2.6	Pembentukan bayangan pada cermin datar	12
Gambar 2.7	Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung	13
Gambar 2.8	Sinar datang dipantulkan tepat di titik focus	13
Gambar 2.9	Sinar datang dipantulkan sejajar sumbu utama	13
Gambar 2.10	Sinar datang dipantulkan kembali di titik pusat kelengkungan	14
Gambar 2.11	Skema kolektor tenaga surya dengan sistem full tracking	14
Gambar 2.12	Variasi harian intensitas radiasi matahari untuk kolektor dengan mekanisme <i>full tracking</i>	15
Gambar 2.13	Kolektor terkonsentrasi	17
Gambar 2.14	Pipa <i>receiver</i>	18
Gambar 2.15	<i>Cylindrical parabolic collector</i> dengan solar tracking	19
Gambar 3.1	Luas bidang bidang penyerapan kalor <i>cylindrical parabolic collector</i>	23
Gambar 3.2	Instalasi <i>cylindrical parabolic collector</i>	23
Gambar 3.3	Variasi jumlah cermin pada bidang <i>cylindrical parabolic collector</i>	24

Gambar 3.4	<i>Stopwatch</i>	25
Gambar 3.5	Termokopel	25
Gambar 3.6	<i>Pyranometer</i>	25
Gambar 3.7	<i>Pyrheliometer</i>	26
Gambar 3.8	Skema instalasi penelitian	26
Gambar 4.1	Grafik intensitas radiasi langsung yang tersedia di alam	38
Gambar 4.2	Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor	38
Gambar 4.3	Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor pada kolektor terhadap suhu pemanasan air	40
Gambar 4.4	Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap jumlah kalor pemanasan air	41
Gambar 4.5	Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor	43
Gambar 4.6	Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap daya pemanasan air [W]	44
Gambar 4.7	Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap nilai efisiensi <i>cylindrical parabolic collector</i>	46

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data paramater penelitian 1	51
Lampiran 2	<i>Input</i> data penelitian 1	52
Lampiran 3	Data hasil penelitian 1	53
Lampiran 4	Data paramater penelitian 2	54
Lampiran 5	<i>Input</i> data penelitian 2	55
Lampiran 6	Data hasil penelitian 2	56
Lampiran 7	Data paramater penelitian 3	57
Lampiran 8	<i>Input</i> data penelitian 3	58
Lampiran 9	Data hasil penelitian 3	59
Lampiran 10	Data paramater penelitian 4	60
Lampiran 11	<i>Input</i> data penelitian 4	61
Lampiran 12	Data hasil penelitian 4	62
Lampiran 13	Data paramater penelitian 5	63
Lampiran 14	<i>Input</i> data penelitian 5	64
Lampiran 15	Data hasil penelitian 5	65
Lampiran 16	Data paramater penelitian 6	66
Lampiran 17	<i>Input</i> data penelitian 6	67
Lampiran 18	Data hasil penelitian 6	68
Lampiran 19	Data paramater penelitian 7	69
Lampiran 20	<i>Input</i> data penelitian 7	70
Lampiran 21	Data hasil penelitian 7	71
Lampiran 22	Data paramater penelitian 8	72
Lampiran 23	<i>Input</i> data penelitian 8	73
Lampiran 24	Data hasil penelitian 8	74
Lampiran 25	Data paramater penelitian 9	75
Lampiran 26	<i>Input</i> data penelitian 9	76
Lampiran 27	Data hasil penelitian 9	77
Lampiran 28	Data paramater penelitian 10	78
Lampiran 29	<i>Input</i> data penelitian 10	79
Lampiran 30	Data hasil penelitian 10	80

Lampiran 31	Data paramater penelitian 11	81
Lampiran 32	<i>Input</i> data penelitian 11	82
Lampiran 33	Data hasil penelitian 11	83
Lampiran 34	Data paramater penelitian 12	84
Lampiran 35	<i>Input</i> data penelitian 12	85
Lampiran 36	Data hasil penelitian 12	86
Lampiran 37	Sifat fisik air	87
Lampiran 38	Nilai absorptivitas material	88



RINGKASAN

Sandi Winoto Sareh, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, *Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor (Fresnel) Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Cylindrical Parabolic Collector*, Dosen pembimbing: Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. dan Dr.Eng. Yulis Yulianti, ST., MT.

Dewasa ini kebutuhan manusia akan sumber energi fosil (Batu bara, gas dan minyak bumi) semakin meningkat sehingga sumber energi tersebut semakin menipis akibatnya harga bahan bakar semakin mahal. Salah satu solusi untuk menghemat sumber energi tersebut adalah dengan memanfaatkan energi alternatif yaitu energi matahari yang tentunya lebih ramah lingkungan daripada sumber energi bahan bakar fosil. Salah satu pemanfaatan energi matahari selain sebagai pembangkit listrik juga dapat digunakan sebagai pemanas air. Pemanas air yang banyak digunakan pada umumnya adalah tipe *flate-plate collector*, namun pemanas jenis ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih kecil. Untuk mensiasati agar didapatkan pemanas air dengan kinerja yang lebih baik maka dibuat pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* (CPC). Bidang CPC memiliki bentuk *parabolic* sehingga apa bila arah bidang kolektor tersebut tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari maka sinar datang matahari akan dipantulkan tepat menuju titik focus (*receiver*) sehingga panas yang diterima lebih terkonsentrasi pada bagian *receiver* akibatnya suhu pemanasan yang dihasilkan pun lebih tinggi.

Dalam penelitian ini diamati kinerja CPC dengan kolektor tanpa cermin (aluminium foil) dan dengan cermin yang jumlahnya divariasikan 3884 unit (1x1 cm); 950 unit (2x2 cm) dan 225 unit (4x4 cm). Data yang dibutuhkan dalam proses pengambilan data untuk penelitian ini adalah suhu pemanasan air, intensitas radiasi total dan langsung yang tersedia di alam. Waktu pengambilan data pemanasan air selama 30 menit dengan pengambilan sampel data setiap selang 3 menit, proses pengambilan data dilakukan antara pukul 10.00-14.00 berdasarkan *solar time*.

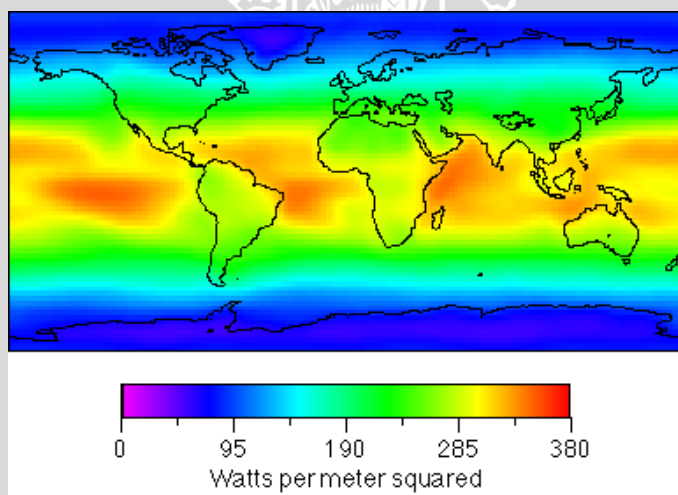
Pada penelitian ini didapatkan hasil penelitian yaitu, jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) menghasilkan kinerja yang paling baik (suhu pemanasan 44,2 °C dengan jumlah kalor pemanasan air 44.600,6 J serta efisiensi 23,76 %). Dengan semakin banyak jumlah cermin pada bidang *cylindrical parabolic collector* akan berakibat bidang kolektor memiliki bentuk yang semakin melengkung. Dengan permukaan yang semakin melengkung mendekati parabolik, maka penyimpangan untuk pemantulan cahaya menuju *receiver* yang terjadi semakin kecil. Akibatnya, dengan penyimpangan pemfokusan cahaya ke *receiver* yang semakin kecil maka proses pemanasan air di dalam *receiver* akan semakin baik sehingga suhu pemanasan air akan tinggi serta jumlah kalor pemanasan air pun akan meningkat akibatnya efisiensi dari *cylindrical parabolic collector* pun meningkat. Kemudian diurutan selanjutnya adalah variasi jumlah cermin 950 unit (2x2 cm) dengan suhu pemanasan 39,93 °C, jumlah kalor pemanasan 34.433,91 J dan efisiensi CPC 19,20%. Lalu di urutan ketiga kolektor dengan tanpa cermin (aluminium foil) suhu pemanasan 37,57 °C, jumlah kalor pemanasan 28.916,31 J dan efisiensi CPC 15,80%. Terakhir, variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) dengan suhu pemanasan 36,85 °C, jumlah kalor pemanasan 27.255,92 J dan efisiensi CPC 12,36%.

Kata Kunci: *Cylindrical parabolic collector, radiasi matahari, cermin, efisiensi*

BAB I PENDAHULUAN

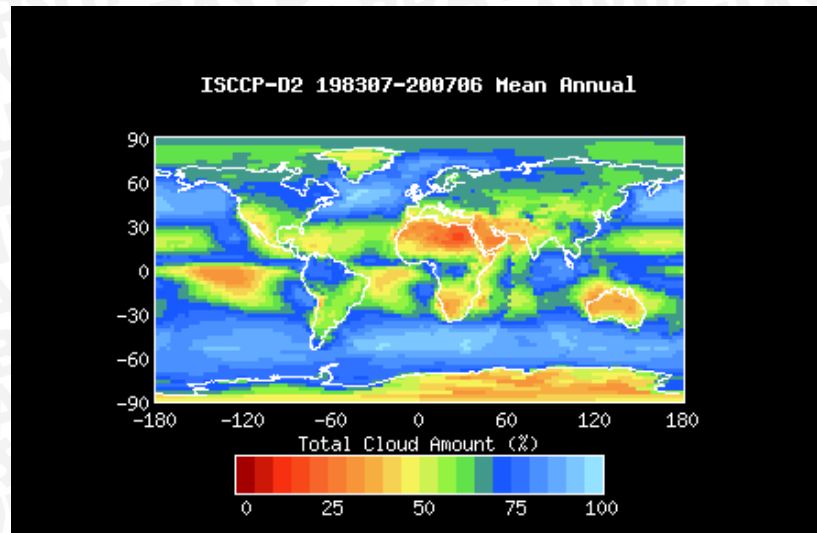
1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini kebutuhan manusia akan sumber energi fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam) semakin meningkat sehingga sumber energi tersebut semakin menipis, akibatnya harga bahan bakar energi semakin mahal apalagi sumber energi tersebut merupakan sumber energi tak terbarui. Bila digunakan terus menerus dalam jumlah besar, maka sumber energi tersebut akan cepat habis. Oleh karena itu, solusi untuk menghemat sumber energi tersebut adalah dengan memanfaatkan salah satu sumber energi alternatif yaitu energi matahari. Pemanfaatan sumber energi matahari sebagai sumber energi alternatif dapat menghemat penggunaan energi fosil yang tentunya penggunaan energi matahari lebih ramah lingkungan daripada penggunaan energi fosil.



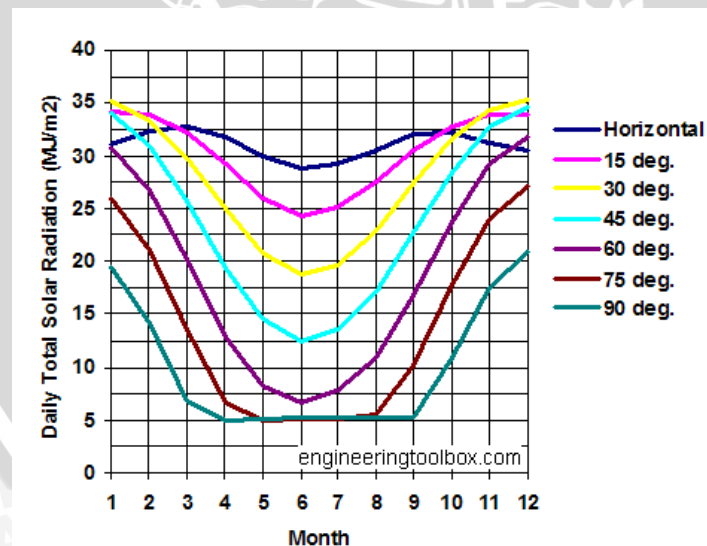
Gambar 1.1 Data intensitas radiasi matahari
Sumber: Anonymous_a

Pada gambar 1.1 menunjukkan bahwa intensitas radiasi yang diterima di daerah khatulistiwa (equator) memiliki daya intensitas radiasi yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada daerah khatulistiwa sinar matahari yang diterima hampir konstan sepanjang tahun. Namun untuk tingkat kelembaban dan kondisi awan di daerah khatulistiwa khususnya Indonesia cenderung lebih besar, hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 1.2.

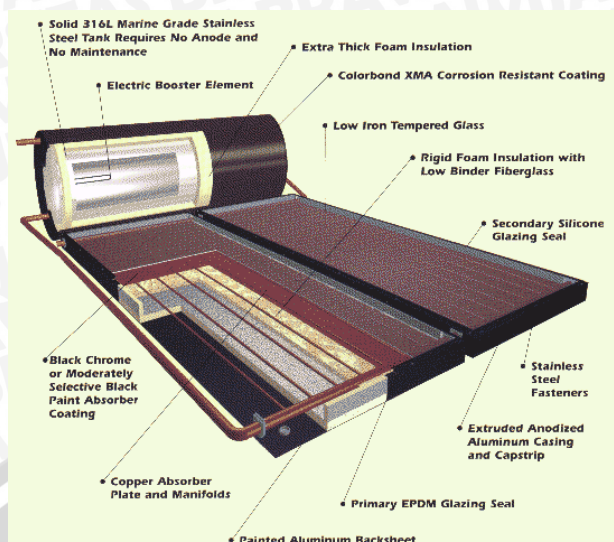


Gambar 1.2 Data kondisi awan
Sumber Anonymous_a

Pada gambar 1.3 menunjukkan bahwa kondisi intensitas radiasi pada daerah khatulistiwa memiliki intensitas radiasi matahari yang cenderung stabil. Sehingga, walaupun kondisi wilayah Indonesia cenderung berawan dan memiliki kelembaban yang tinggi namun dengan kondisi matahari yang selalu bersinar dengan intensitas radiasi yang cenderung konstan sepanjang tahun, dapat dikatakan bahwa wilayah Indonesia memiliki potensi yang cukup baik untuk mengembangkan penelitian mengenai pemanfaatan sumber energi matahari.



Gambar 1.3 Radiasi total matahari harian pada daerah khatulistiwa
Sumber: Anonymous_b



Gambar 1.2 Pemanas air *thermosyphon* tipe *flat-plate collector*
Sumber: Anonymous_c

Salah satu pemanfaatan energi matahari selain untuk pembangkit energi listrik adalah untuk pemanas air tenaga surya. Pada gambar 1.2 menunjukkan pemanas air tenaga surya yang banyak digunakan pada umumnya memiliki tipe desain *Flat-plate Collector* (FPC). Pemanas air jenis ini biasanya memiliki tingkat efisiensi yang kecil. Untuk mensiasati agar mendapat pemanas air dengan efisiensi yang lebih tinggi maka dibuat pemanas air tenaga surya dengan tipe kolektor terkonsentrasi.



Gambar 1.3 Pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*
Sumber: *Process Heat Collector*, (Weis & Rommel, 2008:18)

Tipe kolektor terkonsentrasi dapat dilihat pada gambar 1.3 yang menunjukkan instalasi pemanas air *cylindrical parabolic collector* telah digunakan pada sebuah hotel di Turki, (Weis dan Rommel, 2008:18). Pemanas jenis ini memiliki luas bidang kolektor 180 m^2 dan mampu menghasilkan suhu pemanasan sebesar $100 - 250^\circ\text{C}$.

Dari percobaan yang dilakukan oleh Weis dan Rommel membuktikan bahwa penggunaan kolektor tenaga surya terkonsentrasi dapat memperoleh suhu pemanasan yang lebih tinggi dibandingkan pemanas air tipe *Flat-plate Collector*. Oleh karena itu

skripsi ini menekankan pada masalah pemanas air tenaga matahari tipe *Cylindrical Parabolic Collector* dimana efisiensi dari pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* ini akan ditingkatkan dengan cara mengoptimalkan pantulan radiasi sinar matahari dari kolektor menuju *receiver*. Hal ini disiasi dengan cara memasang cermin-cermin reflektor pada kolektor tersebut. Penggunaan cermin-cermin reflektor yang banyak dan berukuran kecil ini agar fungsi cermin datar yang terpasang pada bidang cekung (*Cylindrical Parabolic Collector*) seolah-olah berfungsi sebagai cermin cekung yang memiliki sifat jika arah datang cahaya tegak lurus dengan bidang cermin cekung maka cahaya akan dipantulkan menuju titik focus sehingga semakin banyak cermin reflektor pada penampang kolektor maka arah pantulan cahaya yang jatuh pada *receiver* akan semakin optimal, karena arah pantulan menuju *receiver* berjalan secara optimal maka panas yang diterima pada *receiver* semakin tinggi sehingga efisiensi yang diperolehpun semakin tinggi pula.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut: Bagaimana pengaruh dari jumlah cermin reflektor (*Fresnel*) terhadap kinerja pada pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*?

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Sinar yang digunakan untuk pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* adalah sinar matahari.
2. Desain kolektor yang akan digunakan berupa bidang silindris dengan pipa *receiver* berbentuk silindris dengan cermin-cermin (*Fresnel*) sebagai reflektor.
3. Kinerja yang diamati dari *cylindrical parabolic collector* adalah suhu pemanasan air, jumlah kalor yang dihasilkan kolektor untuk proses pemanasan air di dalam pipa *receiver* dan efisiensi *cylindrical parabolic collector*.
4. Cermin yang digunakan adalah cermin datar.
5. Fluida yang dipanaskan adalah air.

6. Jumlah cermin reflektor pada kolektor bervariasi dengan luas bidang kolektor tetap ($3987,8 \text{ cm}^2$).
7. Variasi cermin yang digunakan adalah 3884 unit ($1 \times 1 \text{ cm}$); 950 unit ($2 \times 2 \text{ cm}$); 225 unit ($4 \times 4 \text{ cm}$) dan tanpa cermin (aluminium foil).
8. Suhu lingkungan dianggap konstan.
9. Arah sinar matahari tegak lurus terhadap bidang kolektor.
10. Penelitian dilakukan di letak geografis $112,61^\circ \text{ BT}$ dan $7,91^\circ \text{ LS}$.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah cermin reflektor (*Fresnel*) terhadap kinerja dari pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian skripsi ini, antara lain:

1. Memberikan pengetahuan mengenai keunggulan pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*.
2. Dapat mensiasati peningkatan dari efisiensi pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*.
3. Dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian pemanfaatan energi surya selanjutnya seperti kompor tenaga surya, boiler tenaga surya, dan lain-lain.
4. Memberikan solusi terhadap permasalahan krisis energi di dunia pada umumnya dan di Indonesia pada khususnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya



Gambar 2.1 Pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*
Sumber: *Process Heat Collector*, (Weis & Rommel, 2008:18)

Pemanas air tenaga surya dengan tipe kolektor terkonsentrasi yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah kolektor terkonsentrasi tipe *Cylindrical Parabolic Collector*. Penulisan skripsi ini didasari dari penelitian sebelumnya, yaitu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 instalasi pemanas air *cylindrical parabolic collector* telah digunakan pada sebuah hotel di Turki, **(Weis dan Rommel, 2008:18)**. Pemanas jenis ini memiliki luas bidang kolektor 180 m^2 dengan rasio konsentrasi 10-15 dan mampu menghasilkan suhu pemanasan sebesar $100 - 250^\circ\text{C}$. Namun untuk kolektor jenis ini akan berfungsi lebih baik jika ditempatkan pada daerah yang memiliki tingkat radiasi langsung yang tinggi. Namun apabila ditempatkan pada daerah yang dominan radiasi baurnya (kelembaban tinggi dan kondisi awan dengan kandungan uap air yang tinggi) maka pada kolektor ini ketika bekerja saat matahari bersinar cerah alat ini hanya mampu bekerja pada suhu tidak sampai 130°C .

2.2 Radiasi Matahari

Radiasi (radiation) yakni perpindahan energi melalui rambatan media gelombang elektromagnetik yang menyebar ke segala arah. Berikut ini adalah jumlah panas yang dipindahkan dari akibat proses dari radiasi.

$$Q_R = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (\text{Holman, 1993:13}) \quad (2-1)$$

Dimana:

Q_R = Jumlah kalor yang dipindahkan akibat radiasi [W]

σ = Konstanta Stefan Boltzman $5,669 \times 10^{-8}$ [W/m².K⁴]

A = Luas bidang area [m²]

T^4 = Temperatur [K]

Berbagai macam istilah yang perlu diketahui dalam proses radiasi matahari, antara lain:

1. **Beam Radiation**

Beam radiation atau radiasi langsung adalah radiasi matahari yang diterima sebelum dibaurkan oleh atmosfer.

2. **Diffuse radiation (radiasi baur)**

Diffuse radiation atau radiasi baur adalah radiasi matahari yang arahnya berubah setelah diurai (dibaurkan) oleh atmosfer.

3. **Total solar radiation**

Total solar radiation atau radiasi total adalah total penjumlahan antara *Beam radiation* dengan *Diffuse radiation* pada suatu permukaan. Radiasi total disebut juga *global radiation*.

4. **Irradiance [W/m²]**

Irradiance adalah jumlah energi radiasi ketika mengenai suatu permukaan tertentu per satuan luas permukaan yang dikenai radiasi

5. **Irradiation [J/m²]**

Irradiation adalah perbandingan antara energi radiasi dengan luas permukaan yang dikenai radiasi pada spesifik waktu tertentu, misalnya jam atau hari. *Irradiation* diberi symbol, antara lain:

H = apabila jangka waktu dalam 1 hari [J/m². Hari]

I = apabila jangka waktu dalam 1 jam [J/m². Jam]

6. **Solar Time**

Solar time adalah waktu berdasarkan posisi matahari relatif terhadap suatu lokasi di bumi, dimana pada jam 12.00 posisi matahari persis melewati meridian lokasi (garis zenith). Di dunia ini memiliki 24 bagian waktu dengan 12 bagian waktu pada belahan bumi bagian barat dan 12 bagian waktu pada belahan bumi bagian timur. Daerah meridian waktu berada pada garis bujur 0° dan setiap garis bujur bumi bergeser 15° maka terjadi perbedaan waktu 1 jam.

$$\text{solar time} = \text{LST} + \text{ET} \pm 4(\text{SL}-\text{LL})$$

(Kalogirou, 2009:51) (2-2)

Dimana SL adalah garis bujur daerah bagian waktu tertentu dan LL garis bujur dari letak suatu daerah tertentu serta E adalah *equation time*

$$\text{ET} = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B)$$

(Kalogirou, 2009:50) (2-3)

Dan nilai B diperoleh dari:

$$B = (n - 81) \frac{360}{364}$$

(Kalogirou, 2009:51) (2-4)

n = hari ke-n dalam 1 tahun.

Sinar matahari memiliki arah radiasi matahari untuk dapat menentukan arah sinar radiasi matahari relatif terhadap suatu bidang kolektor di bumi, diperlukan pemahaman tentang sudut-sudut posisi. Pertama-tama adalah macam-macam sudut posisi berdasarkan arah radiasi matahari langsung terhadap bidang datar, antara lain sebagai berikut:

Latitude (L) atau derajat garis lintang adalah derajat lokasi garis lintang utara atau selatan yang acuannya berasal dari garis equator, lintang utara bernilai positif; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

Declination (δ) atau sudut deklinasi adalah jarak sudut radiasi sinar matahari dari bidang equator dimana sudut sinar matahari dari utara equator bernilai positif; $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

(Kalogirou, 2009:55)(2-5)

Untuk nilai n dapat diperoleh melalui tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jumlah nilai hari pada bulan tertentu (n) untuk kurun waktu satu tahun

Month	Day number (n)
January	i
February	31 + i
March	59 + i
April	90 + i
May	120 + i
June	151 + i
July	181 + i
August	212 + i
September	243 + i
October	273 + i
November	304 + i
December	334 + i

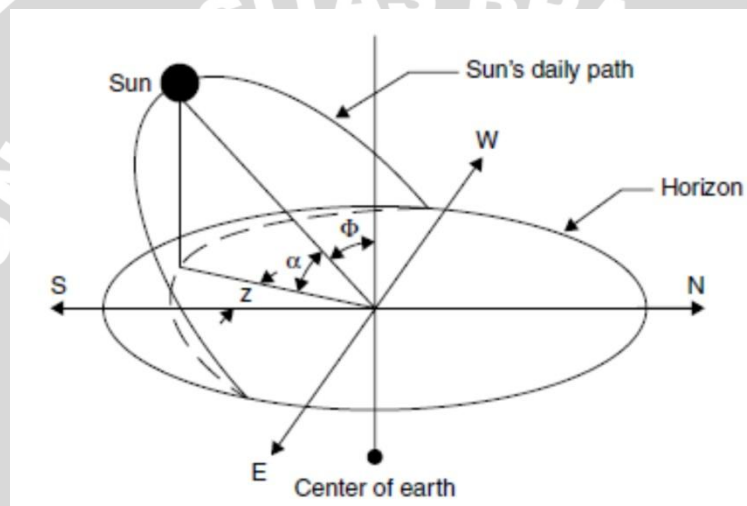
Sumber: (Kalogirou, 2009:56)

Slope (β) adalah sudut kemiringan bidang kolektor terhadap bidang horizontal; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

Surface azimuth angle (Z_s) atau sudut azimuth kolektor adalah sudut antara garis normal dengan bidang permukaan dari arah selatan sesungguhnya. $0^\circ \leq Z_s \leq 180^\circ$

Hour angle (h) adalah sudut lintasan (peredaran matahari dari timur ke barat) selama bumi berotasi (15° rotasi bernilai 1 jam) terhadap meridian lokasi; pagi bernilai negatif (-), sore bernilai positif (+)

Angle of incidence (θ) adalah sudut datang sinar matahari langsung, terhadap garis tegak lurus bidang kolektor.



Gambar 2.2 Pergerakan harian matahari dari terbit hingga terbenam
Sumber: *Solar Energy Engineering*. (Kalogirou, 2009:58)

Kemudian sudut posisi berdasarkan arah radiasi matahari terhadap langit, antara lain sebagai berikut:

Solar altitude angle (α) adalah sudut antara bidang horizontal dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari. Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa sudut α berhubungan dengan sudut Φ sehingga:

$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^\circ$$

Dan untuk *solar altitude angle* diperoleh dari persamaan:

$$\sin(\alpha) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h) \quad (\text{Kalogirou, 2009:58})(2-6)$$

Zenith angle (Φ) adalah sudut antara bidang vertical dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari. Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa sudut α berhubungan dengan sudut Φ sehingga:

$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^\circ$$

Dan untuk nilai *zenith angle* diperoleh dari persamaan:

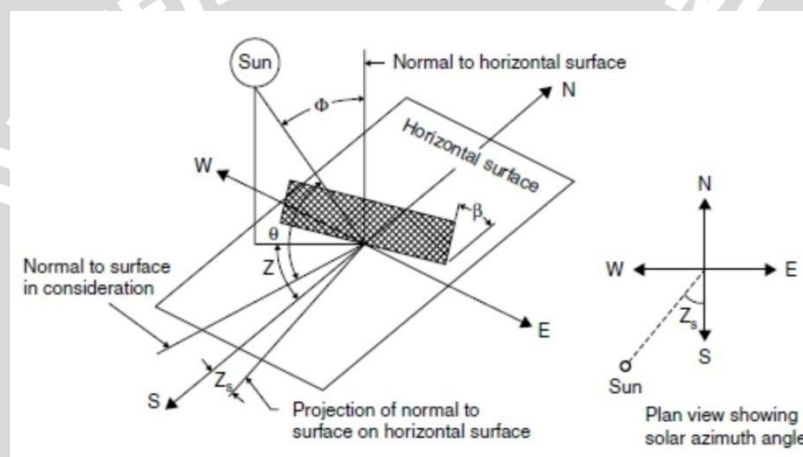
$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)$$

(Kalogirou, 2009:58)(2-7)

Solar azimuth angle (z) atau sudut azimuth matahari adalah sudut perpindahan dari selatan proyeksi radiasi sinar matahari pada bidang horizontal. Besar *solar azimuth angle* dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)}$$

(Kalogirou, 2009:58)(2-8)



Gambar 2.3 Konfigurasi sudut datang radiasi pada bidang kolektor
Sumber: *Solar Energy Engineering*. (Kalogirou, 2009:61)

Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa **Angle of Incidence** adalah sudut datang sinar matahari langsung terhadap garis tegak lurus bidang kolektor. Besar **Angle of incidence** (θ) atau sudut radiasi langsung diperoleh dari persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(\phi)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta) \\ & + \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_s) + \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_s) \end{aligned}$$

(Kalogirou, 2009:60) (2-9)

Dimana:

- β atau *slope* adalah sudut kemiringan bidang kolektor terhadap bidang horizontal.

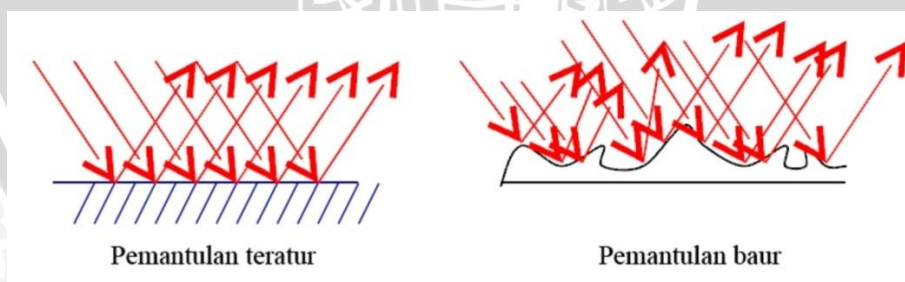
- Z_s atau *Surface Azimuth Angle* adalah sudut antara garis normal dengan bidang permukaan dari arah selatan sesungguhnya, pergerakan ke arah barat dirancang positif.

2.3 Pemantulan Cahaya

Sinar matahari memiliki sifat-sifat yang sama dengan cahaya, maka sifat-sifat fisik dari cahaya antara lain, (Utomo, 2009:2):

- Dapat mengalami pemantulan (refleksi)
- Dapat mengalami pembiasan (refraksi)
- Dapat mengalami pelenturan (difraksi)
- Dapat dijumlahkan (interferensi)
- Dapat diuraikan (dispersi)
- Dapat diserap arah getarnya (polarisasi)
- Bersifat sebagai gelombang dan partikel

Dari sifat-sifat tersebut yang berhubungan dalam penelitian skripsi ini adalah bagaimana proses dari pemantulan cahaya. Secara garis besar pemantulan cahaya terbagi menjadi dua yaitu pemantulan teratur dan pemantulan baur (pemantulan difus). Pemantulan teratur terjadi jika berkas sinar sejajar jatuh pada permukaan halus sehingga berkas sinar tersebut akan dipantulkan sejajar dan searah, sedangkan pemantulan baur terjadi jika sinar sejajar jatuh pada permukaan yang kasar sehingga sinar tersebut akan dipantulkan ke segala arah.

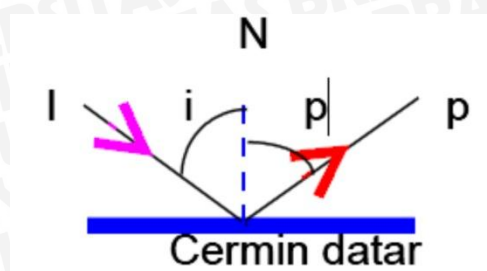


Gambar 2.4 Pemantulan teratur dan pemantulan baur
Sumber: Cahaya (Optik Geometri). (Utomo, 2009:4)

Seorang ahli matematika berkebangsaan belanda yang bernama Willebrod Snellius (1591 – 1626) dalam penelitiannya ia berhasil menemukan hukum pemantulan cahaya yang berbunyi, (Utomo, 2009:2):

1. Sinar datang (I), sinar pantul (P) dan garis normal (N) terletak pada satu bidang datar.

2. Sudut sinar datang sama dengan sudut sinar pantul.



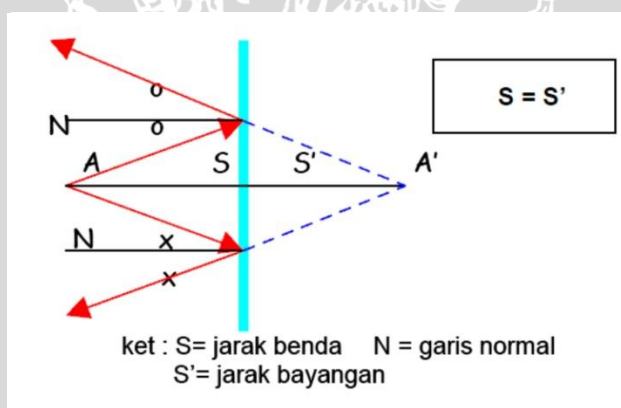
Gambar 2.5 Hukum snellius.
Sumber: Fisika 1. (Utomo, 2009:5)

2.4.1 Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar

Cermin datar memantulkan cahaya hampir semua sinar yang datang kearahnya. Bentuk permukaan cermin ini berupa permukaan datar karena berbentuk datar maka sifat cermin datar, antara lain:

- Jarak bayangan ke cermin = jarak benda ke cermin
- tinggi bayangan = tinggi benda
- Bayangan bersifat tegak dan maya, dibelakang cermin

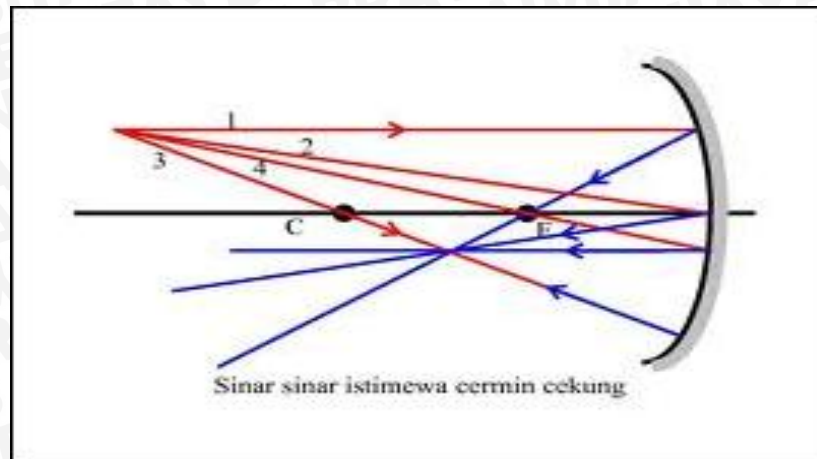
Dari sifat-sifat tersebut dapat dilukiskan pembentukan bayangan benda pada cermin datar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pembentukan bayangan pada cermin datar
Sumber: Fisika 1. (Utomo, 2009:7)

2.4.2 Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung

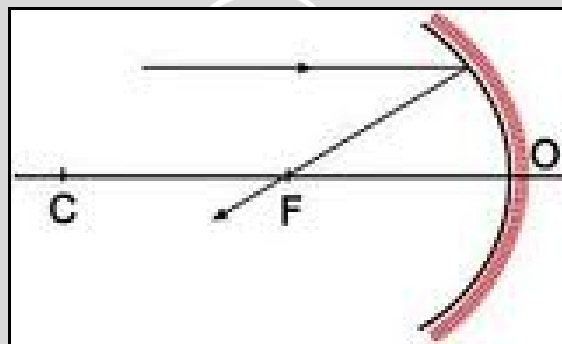
Sistem kolektor tenaga surya yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan bidang parabolik dengan menggunakan reflector majemuk pada bidang parabolic tersebut tersebut sehingga prinsip kerjanya seperti kerja cermin cekung. Cermin cekung memiliki beberapa sifat istimewa, yaitu:



Gambar 2.7 Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung

Sumber: Anonymous_d

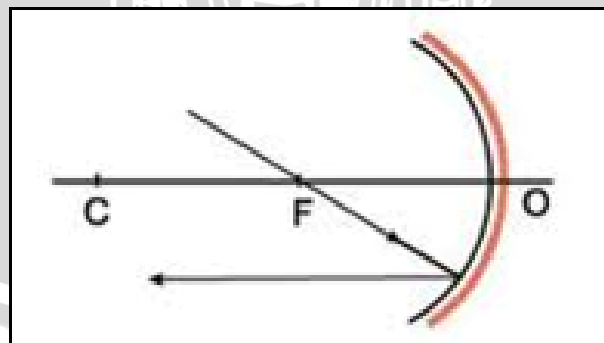
1. Sinar datang searah dengan garis normal (tegak lurus dengan bidang cermin cekung) akan dipantulkan melalui titik fokus.



Gambar 2.8 Sinar datang dipantulkan tepat di titik fokus

Sumber: Anonymous_d

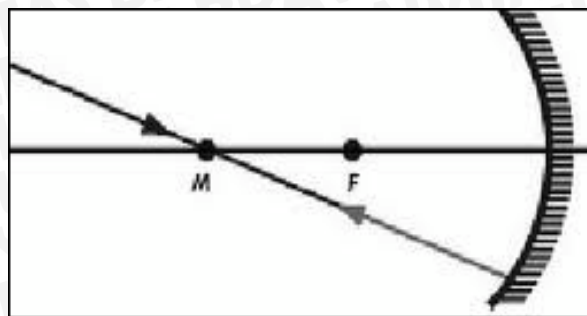
2. Sinar datang melalui titik fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



Gambar 2.9 Sinar datang dipantulkan sejajar sumbu utama

Sumber: Anonymous_d

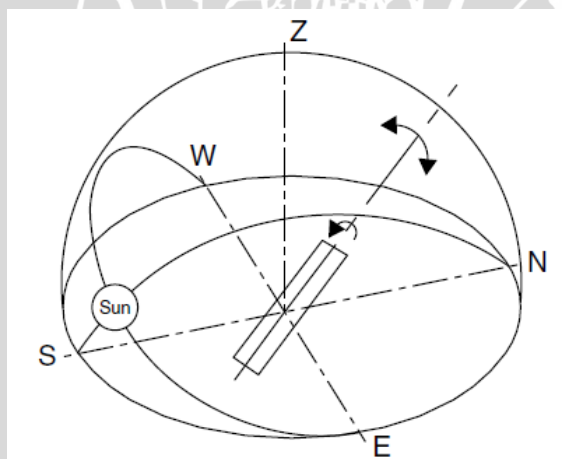
3. Sinar datang melalui titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan ke titik itu juga.



Gambar 2.10 Sinar datang dipantulkan kembali di titik pusat kelengkungan
Sumber: Anonymous_d

Dari sifat istimewa cermin cekung yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sinar datang searah dengan garis normal (tegak lurus dengan bidang cermin cekung) akan dipantulkan melalui titik fokus. Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar pantul atau konvergen apabila sinar-sinar yang datang menuju bidang cermin cekung searah dengan garis normal (tegak lurus dengan bidang cermin cekung) dikenakan pada cermin cekung, sinar pantulnya akan berpotongan pada satu titik. Titik perpotongan tersebut dinamakan titik api atau titik fokus (F).

2.4 Kolektor Tenaga Surya dengan Sistem *Full Tracking*



Gambar 2.11 Skema kolektor tenaga surya dengan sistem *full tracking*
Sumber: *Solar Energy Engineering*. (Kalogirou, 2009:63)

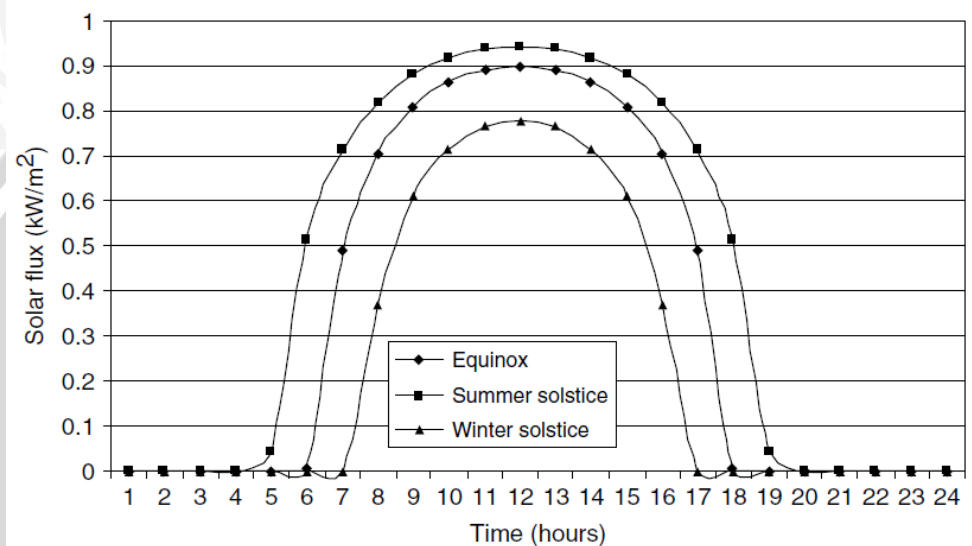
Pada gambar 2.11 menunjukkan skema kolektor tenaga surya dengan sistem *full tracking*. Untuk mekanisme sistem *full tracking* dengan 2 sumbu, bertujuan untuk menjaga arah permukaan kolektor agar searah dengan garis normal bidang kolektor, sehingga arah sinar matahari yang datang besarnya akan tegak lurus dengan bidang

kolektor. Karena arah sudut datang sinar matahari searah dengan garis normal bidang kolektor maka besar sudut datang sinar matahari, adalah:

$$\cos(\theta) = 1$$

$$(\theta) = 0^0 \quad (\text{Kalogirou, 2009:62})(2-10)$$

Untuk kolektor dengan mekanisme full tracking memungkinkan untuk mendapatkan energi matahari yang maksimum. Untuk kinerja pada kolektor dengan mekanisme full tracking dapat ditunjukan pada gambar 2.12 dengan parameter perolehan intensitas radiasi yang mampu diterima pada bidang kolektor.



Gambar 2.12 Variasi harian intensitas radiasi matahari untuk kolektor dengan mekanisme full tracking

Sumber: *Solar Energy Engineering*. (Kalogirou, 2009:63)

Dimana persamaan untuk mencari sudut-sudut posisi pada kolektor dengan sistem mekanisme *full tracking*, adalah:

- Φ (Zenith angle) adalah sudut antara bidang vertical dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari

$$\cos(\Phi) = \sin(\alpha)$$

$$\cos(\Phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)$$

$$(\Phi) = \arccos(\Phi)$$

$$(\alpha) = \arcsin(\alpha)$$

(Kalogirou, 2009:58)(2-11)

- h (Hour angle) adalah sudut lintasan (peredaran matahari dari timur ke barat) selama bumi berotasi (15^0 rotasi bernilai 1 jam) terhadap meridian lokasi; pagi bernilai negatif (-), sore bernilai positif (+).

- δ adalah sudut deklinasi adalah jarak sudut radiasi sinar matahari dari bidang equator dimana sudut sinar matahari dari utara equator bernilai positif;

$$-23.45^{\circ} \leq \delta \leq 23.45^{\circ}$$

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

(Kalogirou, 2009:55)(2-12)

- L (Latitude) adalah derajat garis lintang adalah derajat lokasi garis lintang utara atau selatan yang acuannya berasal dari garis equator, lintang utara bernilai positif dan lintang selatan bernilai negatif; $-90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$

- Pada kolektor dengan mekanisme *full tracking*, sudut kemiringan kolektor (β) nilainya sama besar dengan sudut zenith (Φ).

$$(\beta) = (\Phi)$$

(Kalogirou 2009:64)(2-13)

- Sudut (z) adalah sudut azimuth matahari adalah sudut perpindahan dari selatan proyeksi radiasi sinar matahari pada bidang horizontal. Besar *solar azimuth angle* dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)}$$

(Kalogirou, 2008:58)(2-14)

- Pada kolektor dengan mekanisme *full tracking*, sudut azimuth (z) nilainya sama besar dengan sudut azimuth permukaan (Z_s)

$$(Z_s) = (z)$$

(Kalogirou, 2009:64)(2-15)

- Sehingga sudut arah datang sinar matahari (θ) adalah:

$$\cos \theta = \cos \Phi \cos \beta + \sin \Phi \sin \beta \cos(z - Z_s)$$

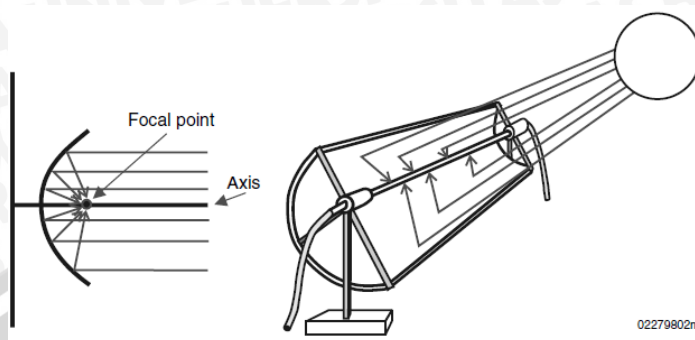
(Duffie & Beckman, 1980:15)(2-16)

2.5 Kolektor Terkonsentrasi dan Prinsip Kerjanya

Pemanas air tenaga surya yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kolektor terkonsentrasi. Penggunaan kolektor terkonsentrasi bertujuan untuk mendapatkan temperatur pemanasan yang lebih tinggi daripada kolektor plat datar. Energi yang dihasilkan kolektor terkonsentrasi diteruskan ke *receiver* pada *receiver* terjadi peningkatan energi panas karena penurunan luas permukaan pemanasan dari kolektor ke *receiver*. Pada *receiver* memiliki bentuk berupa bejana penampung berisi fluida dimana bejana tersebut berfungsi menyerap panas yang berasal dari pemanasan *receiver*, bejana penampung fluida ini disebut juga absorber.

Bagian-bagian utama dari pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* adalah bagian kolektor dan *receiver*.

1. Kolektor



Gambar 2.13 Kolektor terkonsentrasi
Sumber: *Parabolic-through Solar Water Heating*, (Collins & Parker, 2000:7)

Pada gambar 2.13 menunjukkan skema kolektor tenaga surya terkonsentrasi. Kolektor yang digunakan pada penelitian ini adalah kolektor terkonsentrasi tipe *cylindrical parabolic collector*. Bagian kolektor berbentuk parabolik berfungsi untuk menangkap panas dari sinar matahari. Karena bidang kolektor tersebut merupakan bidang cekung maka apabila arah sinar matahari datang tegak lurus dengan bidang kolektor maka arah sinar matahari tersebut akan dipantulkan atau difokuskan menuju titik atau area tertentu sehingga diperoleh pemusatan panas dan diperoleh suhu pemanasan yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari kolektor parabolic, (Mawarni, 2011: 86) antara lain:

1. Luas permukaan kolektor
2. Reflektivitas material kolektor
3. Bentuk geometrik dan letak titik api dari kolektor
4. Arah normal permukaan kolektor terhadap sinar matahari yang datang.
5. Sifat benda hitam dari *receiver*
6. Losses dari lingkungan sekitar atau dari instalasi kolektor

Untuk mensiati agar diperoleh pemanasan yang lebih optimal maka dilakukan modifikasi pada bidang kolektor dengan cara memasang cermin-cermin reflektor agar proses pemantulan cahaya dari kolektor berjalan optimal karena nilai reflektivitas dari cermin bernilai tinggi seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2 Sehingga pemanasan pada *receiver* berlangsung secara optimal juga dan suhu pemanasan yang diperoleh akan lebih tinggi pula. Adapun alasan lain pemilihan pemasangan cermin reflektor ini dikarenakan karena harganya yang murah dan mudah didapat dibandingkan dengan material lainnya.

Tabel 2.2 Reflektifitas cermin

<i>Type</i>	<i>Company</i>	<i>Description</i>	<i>Specular Reflectance</i>
<i>Thin Glass</i>	<i>Naugatech</i>	<i>Stability may be an issue at 2-3 mm.</i>	93 – 96 %

Sumber: Anonymous_e

Pada penelitian ini selain membandingkan variasi jumlah cermin reflektor (*Fresnel*) juga membandingkan kolektor dengan tanpa cermin dengan melapisi bidang *cylindrical parabolic collector* dengan aluminium foil. Adapun, nilai reflektansi aluminium dapat ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Reflektifitas aluminium foil

<i>Type</i>	<i>Company</i>	<i>Description</i>	<i>Specular Reflectance</i>
<i>Aluminium Foil</i>	<i>Alanod, Almeco, (vegaflex)</i>	<i>Dull embossed aluminium foil, thickness 0,5-1 mm</i>	80 %

Sumber: Anonymous_f

2. Receiver



Gambar 2.14 Pipa receiver
Sumber: Anonymous_g

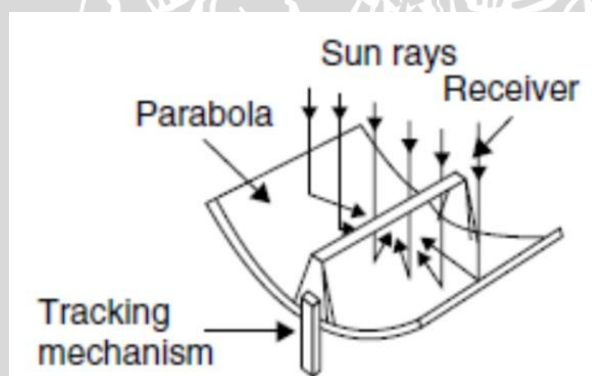
Bagian *receiver* berfungsi untuk menerima panas dari kolektor. Pada *receiver* memiliki bentuk berupa bejana penampung berbentuk silindris berisi fluida dimana bejana tersebut berfungsi menyerap panas yang berasal dari kolektor untuk pemanasan *receiver*, bejana penampung fluida ini disebut juga absorber. Bahan yang dipilih untuk pipa *receiver* pada penelitian ini adalah baja. Alasan dipilihnya pipa *receiver* baja dikarenakan memiliki konduktivitas termal yang lumayan baik, tahan lama, mudah didapat dan harganya yang murah.

Tabel 2.4 Properti material pipa receiver

Properti	Keterangan
Material	Baja
Kalor Spesifik (C_p)	0,48 [kJ/kg. $^{\circ}$ K]
Densitas (ρ)	7850 [kg/m 3]
Konduktivitas Thermal (k)	47,6 [W/m. $^{\circ}$ K]
Kalor spesifik volumetric	3770 [kJ/m 3 . $^{\circ}$ K]
Absortivitas termal (α)	0,6

Sumber: (Kalogirou, 2009:728)

Untuk pemanfaatan panas matahari secara langsung berakibat tidak akan didapat suhu pemanasan fluida hingga 100 $^{\circ}$ C. Sehingga dibutuhkan instalasi pemanasan fluida dengan system kolektor terkonsentrasi. Bidang kolektor terkonsentrasi berbentuk parabolic, sehingga apabila memperoleh energi panas dari sinar matahari yang arahnya tegak lurus dengan bidang kolektor parabolic maka panas dari sinar matahari akan di konsentrasikan atau difokuskan di sebuah titik atau pada area tertentu. Selain itu agar arah datang sinar matahari selalu tegak lurus pada bidang kolektor maka pada *cylindrical parabolic collector* dilengkapi *solar tracking*.



Gambar 2.15 *Cylindrical parabolic collector* dengan *solar tracking*

Sumber: *Solar Energy Engineering*. (Kalogirou, 2008:138)

Pada gambar 2.15 menunjukan *cylindrical parabolic collector* dengan *Solar Tracking*. Penggunaan *solar tracking* bertujuan agar arah radiasi sinar matahari selalu tegak lurus dengan bidang kolektor sehingga sinar matahari yang dipantulkan jatuh pada titik focus dan *receiver* tersebut ditempatkan pada posisi titik focus sehingga panas yang diterima oleh *receiver* akan lebih optimal. Namun untuk kolektor jenis ini akan berfungsi lebih baik jika ditempatkan pada daerah yang memiliki tingkat radiasi langsung yang tinggi. Namun apabila ditempatkan pada daerah yang dominan radiasi baurnya maka pada kolektor ini ketika bekerja saat matahari bersinar cerah alat ini

hanya mampu bekerja secara optimal. Karena kondisi alam seperti temperatur lingkungan, kelembaban udara, kecepatan angin dapat mempengaruhi intensitas radiasi langsung (*beam radiation*) karena kolektor ini akan berfungsi optimal karena pengaruh kualitas dari intensitas radiasi sinar matahari langsung.

Rumus-rumus yang digunakan dalam penelitian skripsi ini, antara lain:

1. Letak titik focus (*receiver*) terhadap bidang kolektor (f).

$$f = \frac{W_a}{4 \tan(\varphi_r / 2)} \quad (\text{Kalogirou, 2009:194})(2-17)$$

W_a = lebar bidang kolektor, W_a = Diameter kolektor [m].

f = Letak titik focus (*receiver*) terhadap bidang kolektor [m].

φ_r = *Rim angle*, sudut bidang kolektor.

2. Jumlah daya yang diserap oleh kolektor untuk memanaskan *receiver*.

$$q_{Kol} = A_{Asb} \cdot I_B \quad (\text{Kalogirou, 2009:201})(2-18)$$

Dimana,

q_{Kol} = Jumlah daya yang dipantulkan kolektor untuk memanaskan *receiver* [W].

A_{Asb} = Luas bidang kolektor pada proses penyerapan radiasi sinar matahari untuk pemanasan receiver (m^2).

$$A_{Asb} = D_{Kol} \cdot p_{kol}$$

Dimana,

D_{Kol} = Diameter kolektor [m^2]

p_{kol} = Panjang kolektor [m^2]. (Kalogirou, 2009:194)(2-19)

I_B = Intensitas radiasi langsung [W/m^2].

3. Jumlah kalor pemanasan air Q_{air} [J].

$$Q_{air} = m_{air} \cdot Cp_{air} \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{Nurachmandani, 2009:157})(2-20)$$

Dimana,

Q_{air} = Jumlah kalor pemanasan air [J].

m_{air} = massa air [J/Kg. $^{\circ}$ C].

Cp_{air} = Panas jenis air [J/Kg. $^{\circ}$ C].

T_2 = Temperatur akhir air [$^{\circ}$ C].

T_1 = Temperatur awal air [$^{\circ}\text{C}$].

4. Jumlah daya pemanasan air q_{air} [W].

$$q_{air} = \frac{Q_{air}}{\Delta t} \quad (\text{Mawarni, 2011:87})(2-21)$$

Dimana,

q_{air} = Jumlah daya pemanasan air q_{air} [W].

Q_{air} = Jumlah kalor pemanasan air [J].

Δt = Selang waktu pertambahan energi yang diterima air [s].

5. Efisiensi *cylindrical parabolic collector*.

$$\eta_{cpc} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

$$\eta_{cpc} = \frac{q_{air}}{q_{kol}} \times 100\% \quad (\text{Mawarni, 2011:87})(2-22)$$

Dimana,

η_k = Efisiensi kolektor [%].

q_{air} = Jumlah daya pemanasan air [W].

Δt = Selang waktu pertambahan energi yang diterima air [s].

q_{kol} = Jumlah daya yang dipantulkan kolektor untuk memanaskan receiver [W].

2.6 Hipotesis

Ketika arah sinar matahari tegak lurus dengan bidang kolektor maka cahaya dipantulkan oleh cermin-cermin reflektor akan jatuh di titik focus (*receiver*). Dengan semakin banyak jumlah cermin pada bidang *cylindrical parabolic collector* akan berakibat bidang kolektor memiliki bentuk yang semakin melengkung. Dengan permukaan yang semakin melengkung mendekati parabolic, maka penyimpangan untuk pemantulan cahaya menuju *receiver* yang terjadi semakin kecil. Akibatnya, dengan penyimpangan pemfokusan cahaya ke *receiver* yang semakin kecil maka proses pemanasan air di dalam *receiver* akan semakin baik sehingga suhu pemanasan air akan tinggi serta jumlah kalor pemanasan air pun akan meningkat akibatnya efisiensi dari *cylindrical parabolic collector* pun meningkat.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung pada objek yang diteliti untuk mencari data dalam suatu kejadian melalui proses eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh jumlah cermin reflektor (*Fresnel*) terhadap kinerja pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Surya Fakultas Teknik Universitas Brawijaya bulan Mei-selesai.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- Waktu Pemanasan selama 30 menit, dengan pengambilan sampel data setiap 3 menit. Waktu pengambilan data antara pukul 10.00-14.00 berdasarkan *solar time*.
- Jumlah cermin, antara lain:
 1. Jumlah 3884 unit (1x1 cm).
 2. Jumlah 950 unit (2x2 cm).
 3. Jumlah 225 unit (4x4 cm).
 4. Tanpa cermin (aluminium foil).

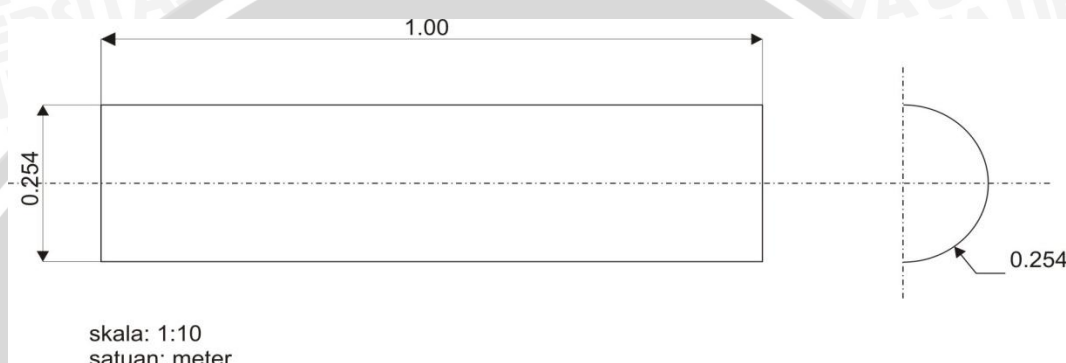
2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu pemanasan air, jumlah kalor yang

digunakan untuk pemanasan air dan efisiensi pada pemanas air tenaga surya tipe *Cylindrical Parabolic Collector*.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan. Variabel terkontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah luas bidang bidang penyerapan kalor *cylindrical parabolic collector* (A_{Asb}) sebesar $0,254 \text{ [m]} \times 1 \text{ [m]} = 0.254 \text{ [m}^2\text{]}$



Gambar 3.1 Luas bidang bidang penyerapan kalor *cylindrical parabolic collector*

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Cylindrical parabolic collector*

Bagian kolektor berbentuk *parabolic* berfungsi untuk menangkap panas dari sinar matahari untuk kemudian dipantulkan ke *receiver*. Untuk *cylindrical parabolic collector* dapat ditunjukkan pada gambar 3.1.

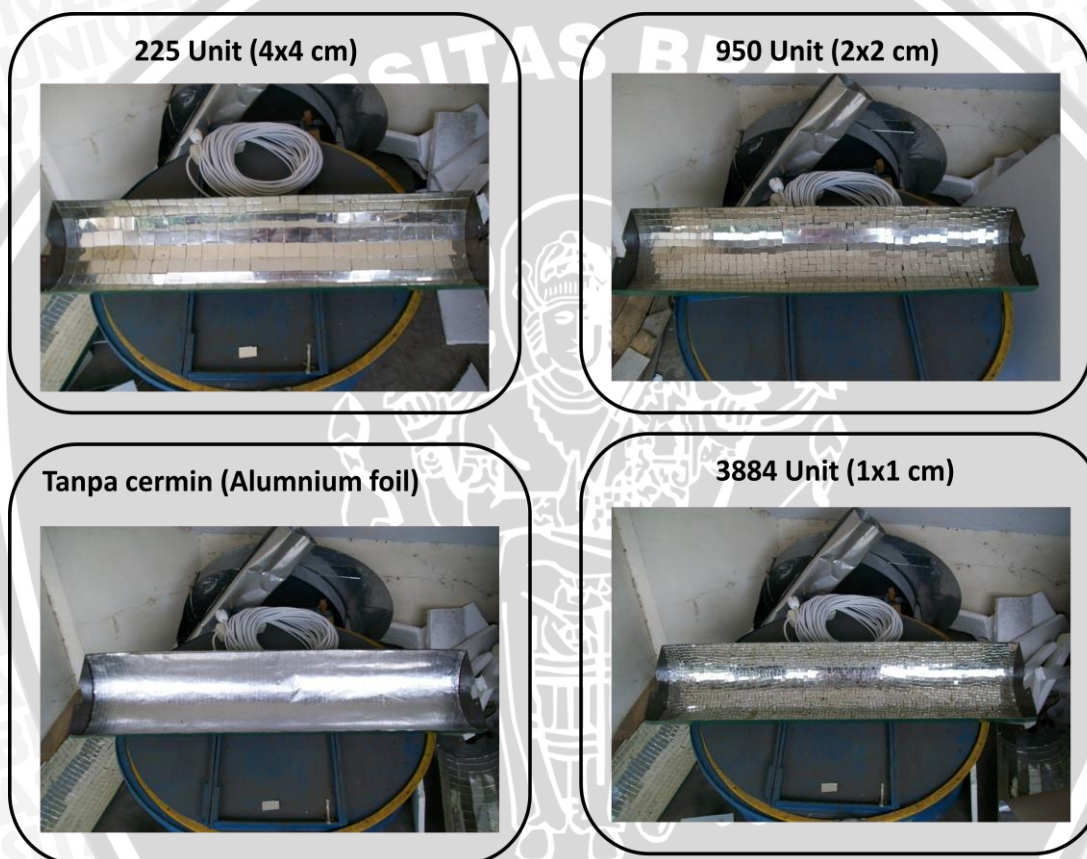


Gambar 3.2 Instalasi *cylindrical parabolic collector*

Untuk sistem mekanisme *tracking* pada *cylindrical parabolic collector* menggunakan motor listrik bertegangan 12 volt yang

direduksikan pada mekanisme roda gigi cacing untuk kemudian ditransmisikan menuju *cylindrical parabolic collector* dengan menggunakan rantai.

Instalasi CPC ini memiliki diameter kolektor 10 inch (25,4 cm) dengan panjang 1 meter serta diameter pipa *receiver* 1 inch (2,54 cm). Pada penelitian ini variasi yang diamati adalah variasi jumlah reflektor pada bidang *cylindrical parabolic collector*, yaitu: 3884 unit (1x1 cm); 950 unit (2x2 cm); 225 unit (4x4 cm) dan tanpa cermin (aluminium foil) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.3 variasi jumlah cermin pada bidang *cylindrical parabolic collector*.

2. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pemanasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.4 *Stopwatch*
Sumber: Anonymous_h

3. Termokopel

Pada penelitian ini menggunakan 3 buah sensor termokopel untuk mengukur temperatur pemanasan air. Termokopel yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.5 Termokopel

4. Pyranometer

Pyranometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas daya radiasi cahaya matahari (*total radiation*) per meter persegi (W/m^2) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.6 *Pyranometer*

5. Pyrhelimeter

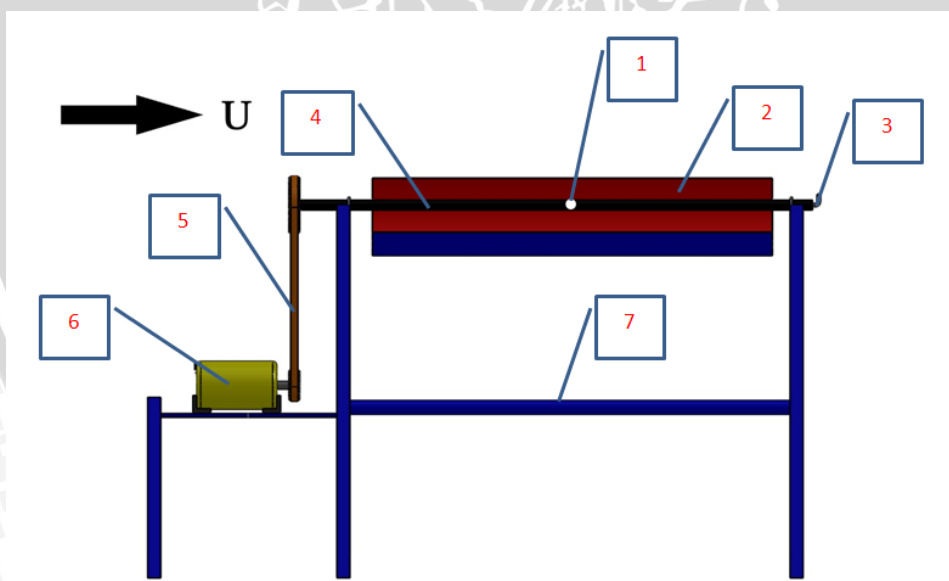
Pyrhelimeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur *beam radiation* dengan satuan keluaran $V/(W/m^2)$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.7 Pyrhelimeter

3.5 Skema Instalasi Penelitian

Untuk skema instalasi penelitian pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.8 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan:

1. Themocouple
2. Cermin reflektor

3. *Inlet air*
4. *Pipa receiver*
5. Transmisi
6. Motor listrik
7. *Base*

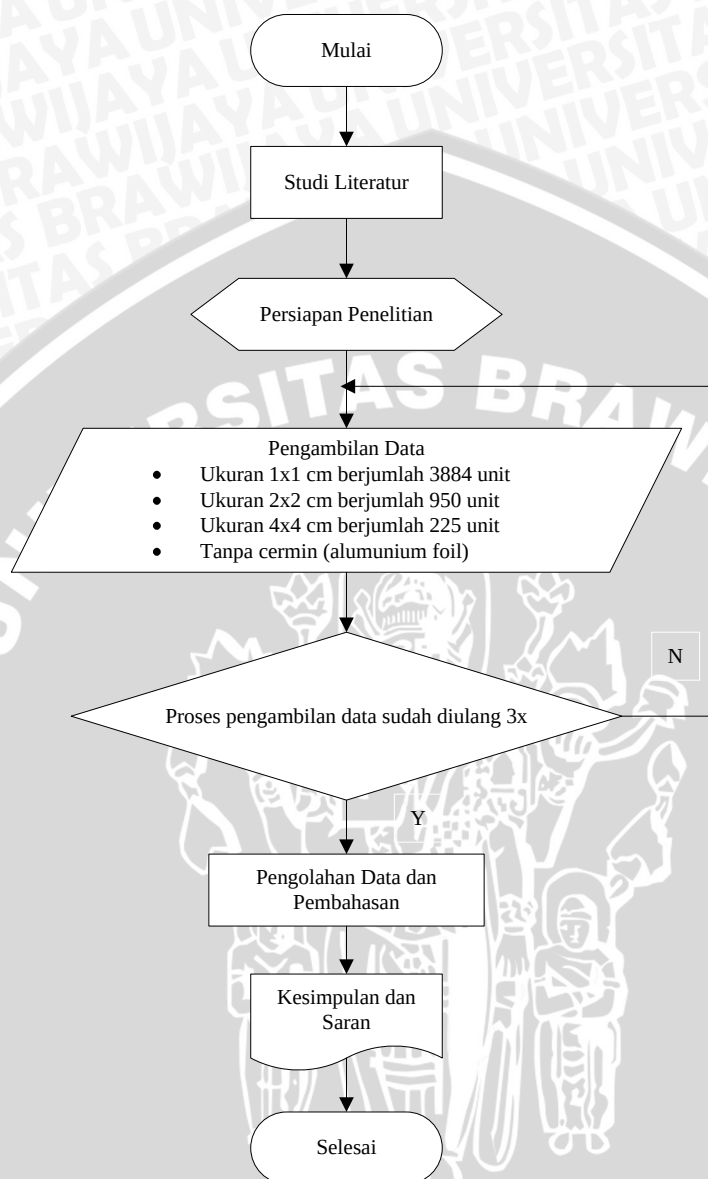
3.6 Prosedur Penelitian

Untuk proses pengambilan data penelitian langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut. Pertama-tama semua peralatan penelitian yang akan digunakan disiapkan terlebih dahulu. Setelah semua peralatan penelitian telah dipersiapkan, maka pilih variasi jumlah cermin pada *cylindrical parabolic collector* (CPC) yang akan digunakan lalu pasang pada instalasi pemanas air tenaga surya tipe CPC dan pastikan instalasi CPC terpasang dengan baik. Setelah instalasi CPC terpasang dengan baik air dimasukkan ke pipa *receiver* melalui inlet air. Setelah air dimasukkan ke pipa *receiver*, posisikan *cylindrical parabolic collector* tegak lurus dengan arah datangnya radiasi matahari.

Untuk proses pengambilan data, data yang diambil dari penelitian ini adalah Intensitas radiasi total [W/m^2], Intensitas radiasi langsung [W/m^2] dan temperatur pemanasan air [$^{\circ}\text{C}$]. Selama pengambilan data waktu untuk pemanasan selama 30 menit, dengan pengambilan sampel data setiap 3 menit dengan kondisi bidang kolektor harus tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Waktu pengambilan data antara pukul 10.00-14.00 berdasarkan *solar time*. Untuk pengambilan data setiap variasi jumlah cermin tertentu diulang sebanyak 3 kali pengambilan data.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah Solar Time, *solar altitude angle* (α), sudut *zenith* (Φ), *angle of incident* (θ), *slope* (β), Intensitas Radiasi Total (I_T), Intensitas radiasi langsung (I_B), Panas yang diserap kolektor (Q_{kol}), Panas yang dipantulkan kolektor menuju *receiver* untuk memanaskan air (Q_{air}), Efisiensi *Cylindrical Parabolic Collector* (CPC). Berikut ini adalah contoh perhitungan parameter-parameter penelitian, antara lain:

1. *Apparent Solar Time* (AST)

Untuk menghitung *Apparent Solar Time* (AST) dibutuhkan parameter-parameter seperti waktu daerah setempat atau *Local Solar Time* (LST), Standar garis bujur pembagian waktu berdasarkan GMT atau *Standard Longitude* (SL), Letak garis bujur daerah setempat atau *Local longitude* (LL).

Diketahui:

Kamis, 12 juli 2012

$$LL = 112,61^{\circ}$$

$$SL = 105^{\circ}$$

$$LST = 09:48$$

Dari 3 data yang didapat untuk menghitung *Apparent Solar Time* (AST) maka terlebih dahulu menghitung *equation of time* (ET).

- B , untuk menghitung B dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-4).

$$B = \frac{360}{364} \times (N - 81) \rightarrow N = 181 + i \rightarrow \text{untuk bulan juni, } i = \text{tanggal.}$$

$$B = \frac{360}{364} \times (181 + i - 81)$$

$$B = \frac{360}{364} \times (181 + 12 - 81)$$

$$B = 110,76$$

- $ET = \text{Equation of Time}$, untuk menghitung ET dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-3).

$$ET = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B)$$

$$ET = 9.87 \sin(2 \times 110,76) - 7.53 \cos(110,76) - 1.5 \sin(110,76)$$

$$ET = -4,87 \text{ min}$$

Setelah ET diketahui maka untuk menghitung AST, adalah

- *AST = Solar Time*, untuk menghitung AST dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2)

$$AST = LST + ET \pm 4(SL - LL)$$

$$AST = 10:58 + (-4,87) \text{ min} - 4(105 - 112.61)$$

$$AST = 9:48 + 25.56 \text{ min}$$

$$AST = 11:23$$

2. Sudut α dan Φ

Untuk menghitung sudut antara bidang horizontal dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari atau *solar altitude angle* (α) dan sudut antara bidang vertical dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari atau sudut *zenith* (Φ) dibutuhkan parameter-parameter seperti Letak garis bujur daerah setempat atau *Local longitude* (LL), sudut lintasan (peredaran matahari dari timur ke barat) selama bumi berotasi (15° rotasi bernilai 1 jam) terhadap meridian lokasi atau sudut *hour angle* (h) dan jarak sudut radiasi sinar matahari dari bidang equator dimana sudut sinar matahari dari utara equator bernilai positif dan selatan bernilai negative atau *declination* (δ).

L	h	δ
-7.95	-15.5	22.363819

Diketahui

$$LL = -7,95^\circ$$

$$h = -15,5^\circ$$

Untuk mencari nilai declination dapat dihitung melalui persamaan (2-12)

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right]$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + 181 + 12) \right]$$

$$\delta = 22,36^\circ$$

- Sehingga sudut α dan Φ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11)

$$\sin(\alpha) = \cos\Phi = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)$$

$$\sin(\alpha) = \cos\Phi = \sin(-7,95)\sin(22,36) + \cos(-7,95)\cos(22,36)\cos(-15,5)$$

$$\sin(\alpha) = \cos\Phi = 0,829$$

- Besar sudut α dan Φ , adalah:

$$\sin(\alpha) = \arcsin(0,829)$$

$$\alpha = 56,09^0$$

$$\cos(\Phi) = \arccos(0,829)$$

$$\Phi = 33,91^0$$

3. Sudut z , untuk menghitung Sudut perpindahan dari selatan proyeksi radisasi sinar matahari pada bidang horizontal atau *solar azimuth angle* (z) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-14).

Diketahui:

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sin(z) = \frac{\cos(24,36)\sin(-15,5)}{\cos(56,09)}$$

$$\sin(z) = -0.44$$

$$z = \arcsin(-0.44)$$

$$z = -26,29^0$$

4. Sudut Z_s atau *Surface azimuth angle* adalah sudut antara garis normal dengan bidang permukaan dari arah selatan sesungguhnya, pergerakannya kearah barat dirancang positif. Untuk mekanisme *full tracking* sudut Z_s besarnya sama dengan sudut z .

$$Z_s = z$$

$$Z_s = -26,29^0$$

5. Untuk mekanisme *full tracking* sudut β , *slope* atau kemiringan kolektor besarnya sama dengan sudut Φ .

$$\beta = \Phi$$

$$\beta = 33,91^0$$

6. Sudut θ , Untuk menghitung sudut datang sinar matahari langsung terhadap kolektor atau *Angle of incidence* (θ) dengan menggunakan persamaan (2-16).

$$\cos \theta = \cos \Phi \cos \beta + \sin \Phi \sin \beta \cos(z - Z_s)$$

$$\cos(\theta) = \cos(33,91) \cos(33,91) + \sin(33,91) \sin(33,91) \cos(-26,29 - (-26,29))$$

$$\cos(\theta) = 1$$

$$\theta = \arccos(1)$$

$$\theta = 1^\circ$$



- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel 4.1 Data parameter penelitian

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
10:58	110,769	-4,8795	25,561	11:23	-7,95	-9,25	21,97	0,85478	58,735	31,265	1	0	-0,287	-16,69	-16,69	0,607	31,265
11:01	110,769	-4,8795	25,561	11:26	-7,95	-8,5	21,97	0,85664	58,941	31,059	1	0	-0,266	-15,41	-15,41	0,602	31,059
11:04	110,769	-4,8795	25,561	11:29	-7,95	-7,75	21,97	0,85833	59,13	30,87	1	0	-0,244	-14,11	-14,11	0,598	30,87
11:07	110,769	-4,8795	25,561	11:32	-7,95	-7	21,97	0,85988	59,303	30,697	1	0	-0,221	-12,79	-12,79	0,594	30,697
11:10	110,769	-4,8795	25,561	11:35	-7,95	-6,25	21,97	0,86126	59,459	30,541	1	0	-0,199	-11,46	-11,46	0,59	30,541
11:13	110,769	-4,8795	25,561	11:38	-7,95	-5,5	21,97	0,8625	59,598	30,402	1	0	-0,176	-10,12	-10,12	0,587	30,402
11:16	110,769	-4,8795	25,561	11:41	-7,95	-4,75	21,97	0,86357	59,72	30,28	1	0	-0,152	-8,76	-8,76	0,584	30,28
11:19	110,769	-4,8795	25,561	11:44	-7,95	-4	21,97	0,86449	59,824	30,176	1	0	-0,129	-7,394	-7,394	0,581	30,176
11:22	110,769	-4,8795	25,561	11:47	-7,95	-3,25	21,97	0,86525	59,911	30,089	1	0	-0,105	-6,02	-6,02	0,579	30,089
11:25	110,769	-4,8795	25,561	11:50	-7,95	-2,5	21,97	0,86585	59,98	30,02	1	0	-0,081	-4,638	-4,638	0,578	30,02
11:28	110,769	-4,8795	25,561	11:53	-7,95	-1,75	21,97	0,8663	60,031	29,969	1	0	-0,057	-3,25	-3,25	0,577	29,969

- Input data penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel 4.2 Input data penelitian

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,7	6,1	25	25	25
3	7,7	6,2	26	27	26,2
6	7,8	6,3	27,5	28,9	28
9	7,6	6,2	29,4	30,2	29,5
12	7,6	6,2	30,7	31,7	30,9
15	7,8	6,4	32,2	33,2	32,4
18	7,7	6,2	33,2	34,3	34,6
21	7,7	6,3	34,2	35	35,3
24	7,5	6,3	35,1	36,2	35,4
27	7,6	6,4	35,9	36,8	36
30	7,5	6,4	36,4	37,2	36,7

4.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan proses pengambilan data maka dapat melakukan perhitungan data hasil penelitian. Dari data-data yang diperoleh (temperatur pemanasan air dan intensitas radiasi total dan langsung yang tersedia) maka dapat digunakan untuk menghitung parameter-parameter data hasil penelitian antara lain: intensitas radiasi total I_T , intensitas radiasi langsung, jumlah daya yang diterima kolektor untuk dipantulkan ke *receiver*, jumlah kalor pemanasan air pada pipa *receiver*, dan Efisiensi *Cylindrical Parabolic Collector*.

1. Intensitas Radiasi Total dan Langsung (I_T dan I_B), didapat dari alat ukur yang terintegrasi dengan voltmeter [mV], sehingga untuk memperoleh hasil pengukuran dengan satuan [W/m^2] harus dibagi dengan factor pembagi dari spesifikasi pyranometer dan pyrliometer yaitu sebesar $8,2 \times 10^{-6}$ (V/Wm^{-2}).

$$\bullet \quad I_T = \frac{I_{T[avo]}}{9,02 \times 10^{-6}}$$

$$I_T = \frac{7,7 \times 10^{-3} [V]}{9,02 \times 10^{-6} \left[\frac{V}{W/m^2} \right]}$$

$$I_T = 853,65 \text{ } W/m^2$$

$$\bullet \quad I_B = \frac{I_{B[avo]}}{8,2 \times 10^{-6}}$$

$$I_B = \frac{6,2 \times 10^{-3} [V]}{8,2 \times 10^{-6} \left[\frac{V}{W/m^2} \right]}$$

$$I_B = 756,09 \text{ } W/m^2$$

2. Untuk menghitung daya yang diserap kolektor (q_{kol}) menggunakan persamaan (2-17).

$$q_{kol} = A_{Asb} \cdot I_B$$

$$q_{kol} = 0,254 [m^2] \times 743,90 [W/m^2]$$

$$q_{kol} = 188,95 [W]$$

3. Untuk menghitung jumlah kalor pemanasan air pada pipa *receiver* (Q_{air} [J]) menggunakan persamaan (2-20)

$$Q_{air} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_i - T_{awal})$$

$$Q_{air} = 0,55[kg] \times 4180 [J / kg \cdot ^\circ C] \times (26,4 - 25) [^\circ C]$$

$$Q_{air} = 3.218,6 [J]$$

4. Untuk menghitung daya pemanasan air

$$q_{air} = Q_{air} / \Delta t$$

$$q_{air} = 3.218,6 [J] / 180 [s]$$

$$q_{air} = 17,88 [W]$$

5. Untuk menghitung efisiensi *Cylindrical Parabolic Collector* (η_{CPC}) menggunakan persamaan (2-21).

$$\eta_{cpc} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \times 100\%$$

$$\eta_{cpc} = \frac{q_{air}}{q_{kol}} \times 100\%$$

$$\eta_{cpc} = \frac{17,88 [W]}{151,88 [W]} \times 100\%$$

$$\eta_{cpc} = 9,31 [\%]$$

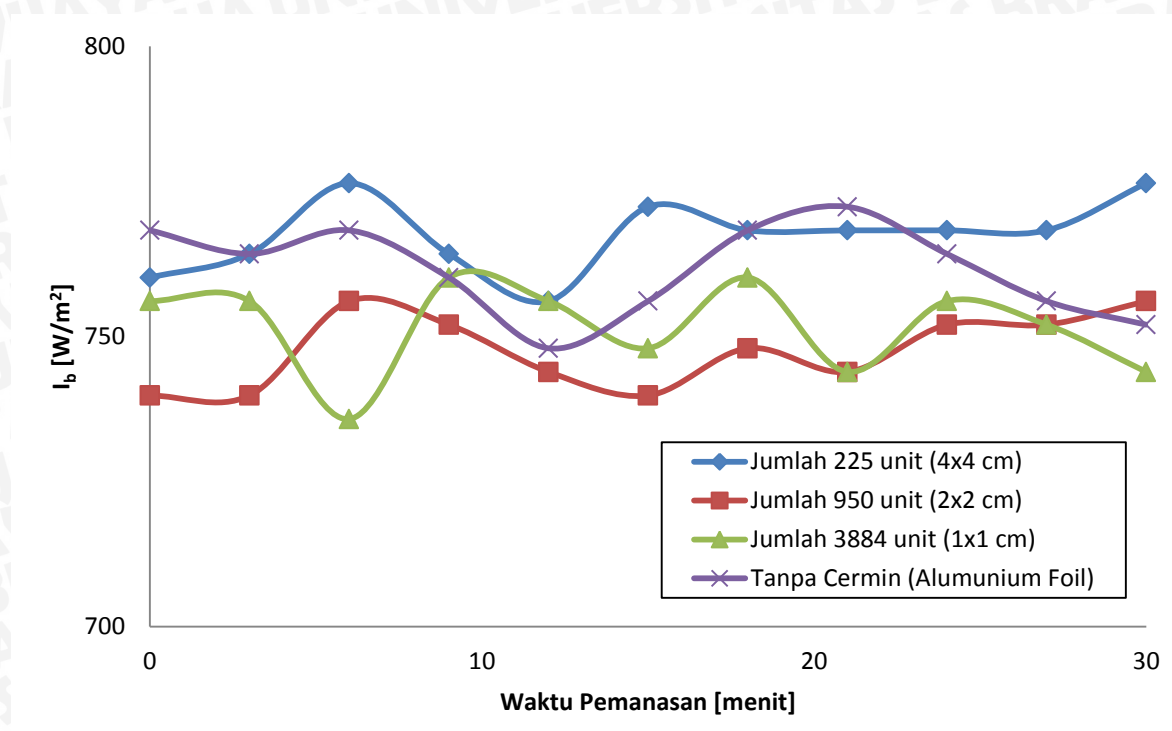
- Data Hasil penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel 4.3 Data hasil penelitian

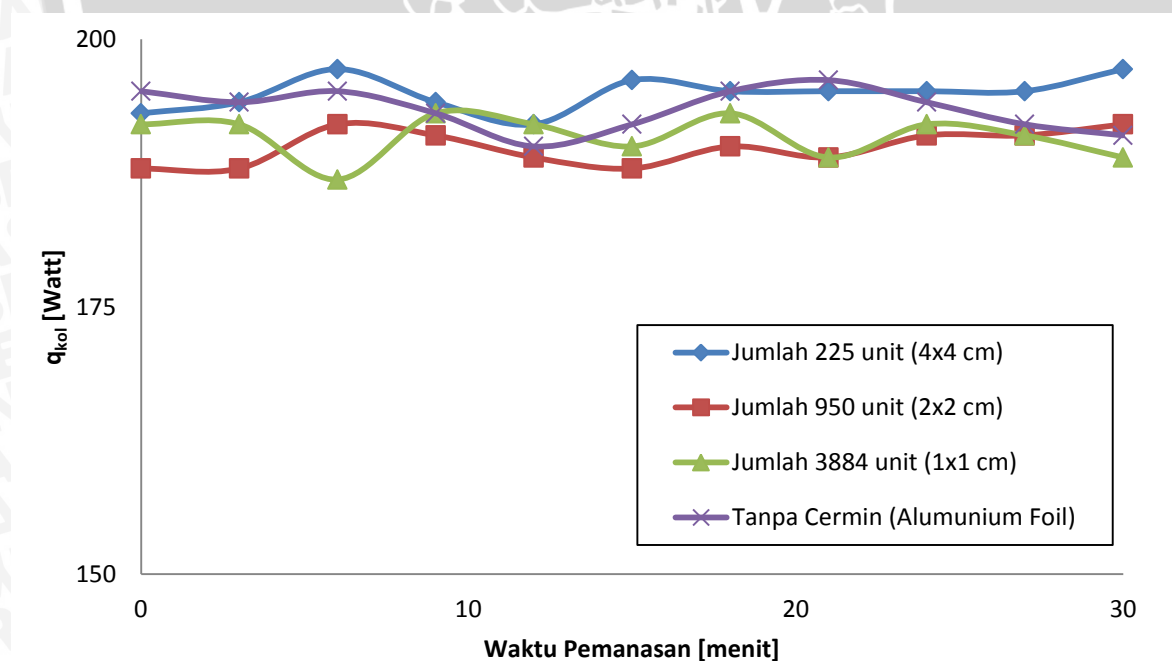
detik	$I_T [W/m^2]$	$I_B [W/m^2]$	$\varepsilon [\%]$	α	τ	γ	$A_{asb} [m^2]$	$Q_{kol} [W]$	massa (kg)	$T_{air} [^{\circ}C]$	$C_{p_{air}} [J/kg.^{\circ}C]$	$Q_{air} [J]$	$\eta_k [\%]$
0	853.65854	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	25	4180	0	0
180	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	26.4	4180	3218.6	9.3107132
360	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	28.133333	4180	7203.5333	10.253748
540	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	29.7	4180	10805.3	10.419131
720	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.1	4180	14023.9	10.142027
900	864.74501	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	32.6	4180	17472.4	9.7928751
1080	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	34.033333	4180	20767.633	10.012711
1260	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.833333	4180	22606.833	9.1940905
1440	831.48559	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	35.566667	4180	24292.767	8.6447825
1620	842.57206	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.233333	4180	25825.433	8.0414204
1800	831.48559	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.766667	4180	27051.567	7.580888

4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1. Grafik Jumlah Daya yang Mampu Diserap oleh Kolektor



Gambar 4.1 Grafik intensitas radiasi langsung yang tersedia di alam



Gambar 4.2. Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor

Pada setiap variasi jumlah cermin memiliki luas total reflektor yang hampir serupa untuk jumlah total 225 unit (4x4 cm) kolektor memiliki jumlah luas total bidang cermin 0,3600 [m²], untuk jumlah total 950 (2x2 cm) memiliki luas total bidang cermin 0,3800 [m²], dan untuk jumlah total 3884 (1x1 cm) memiliki luas total bidang cermin 0,3884 [m²]. Sedangkan untuk yang tanpa cermin (aluminium foil) memiliki luas total bidang aluminium foil 0,3987 [m²].

Gambar 4.1 Menunjukkan bahwa besar energi radiasi langsung yang tersedia nilainya agak fluktuatif maka jumlah daya yang mampu diterima kolektor pun agak fluktuatif (ditunjukkan pada gambar 4.2). Hal ini diakibatkan oleh pengaruh pergerakan awan, jumlah uap air di udara, kelembapan udara, serta kondisi angin di udara sehingga, mempengaruhi kualitas intensitas radiasi langsung yang diterima kolektor. Untuk menghitung jumlah daya yang mampu diserap pada kolektor ditunjukkan pada persamaan (2.18)

$$q_{Kol} = A_{Asb} \cdot I_B$$

Dimana,

q_{Kol} = Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor [W].

A_{Asb} = Luas bidang kolektor pada proses penyerapan radiasi sinar matahari untuk pemanasan receiver (m²)

$$A_{Asb} = D_{Kol} \cdot p_{kol}$$

Dimana,

D_{Kol} = Diameter kolektor (m)

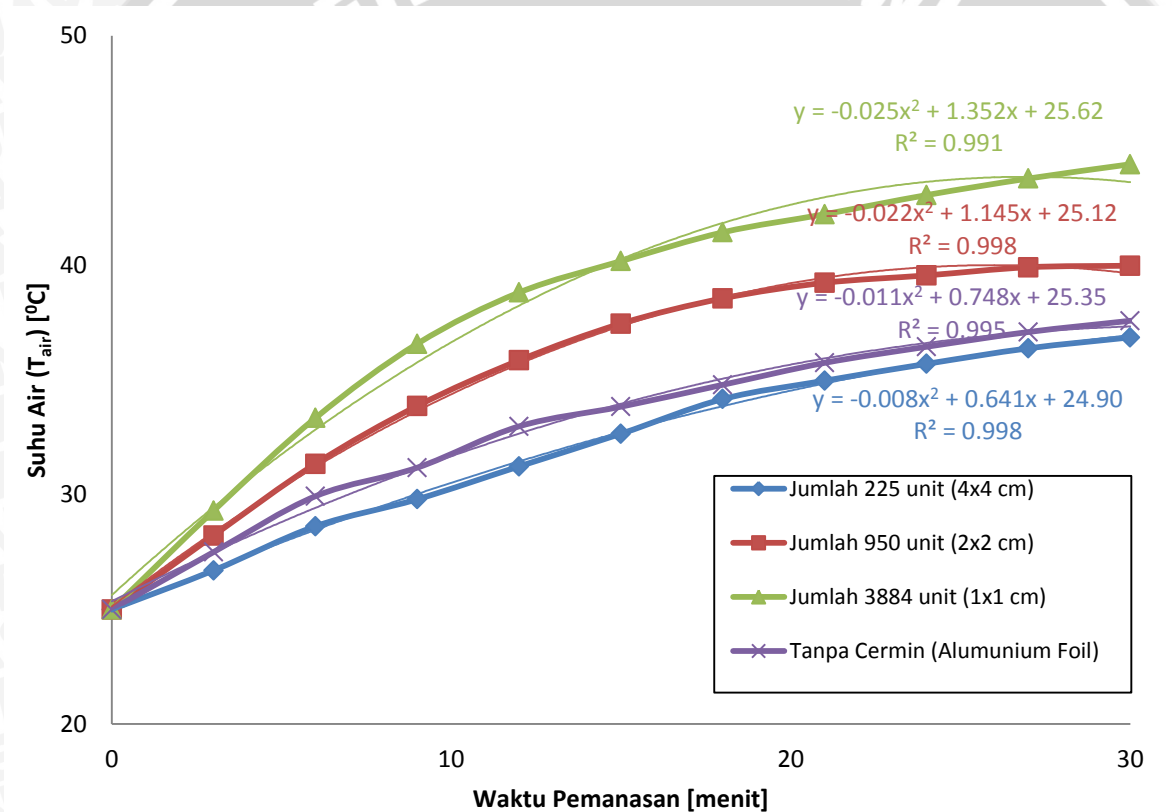
p_{kol} = Panjang kolektor (m)

I_B = Intensitas radiasi langsung [W/m²]

Untuk variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1) cm dengan luas total 0,3884 m², dari intensitas radiasi yang tersedia 743-760 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 188-193 W. Untuk variasi jumlah cermin 950 unit (2x2 cm), dari intensitas radiasi yang tersedia 739-756 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 187-192 W. Untuk variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm), dari intensitas radiasi yang tersedia 756-776 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 193-197 W. Untuk variasi jumlah tanpa cermin (aluminium foil), dari intensitas radiasi yang tersedia 747-772 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 189-

196 W. Kondisi intensitas radiasi pada saat pengambilan data untuk variasi pada jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) dan 950 (2x2 cm) agak sedikit kurang baik daripada kondisi intensitas radiasi pada saat pengambilan data untuk variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) dan tanpa cermin (aluminium foil). Hal ini dikarenakan, walaupun kondisi langit cerah namun kondisi pergerakan awan lebih aktif, kelembaban udara yg lebih tinggi dan kecepatan angin yang lebih tinggi. Sehingga, intensitas radiasi yang tersedia agak semakin lebih kecil akibatnya jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap menjadi lebih kecil.

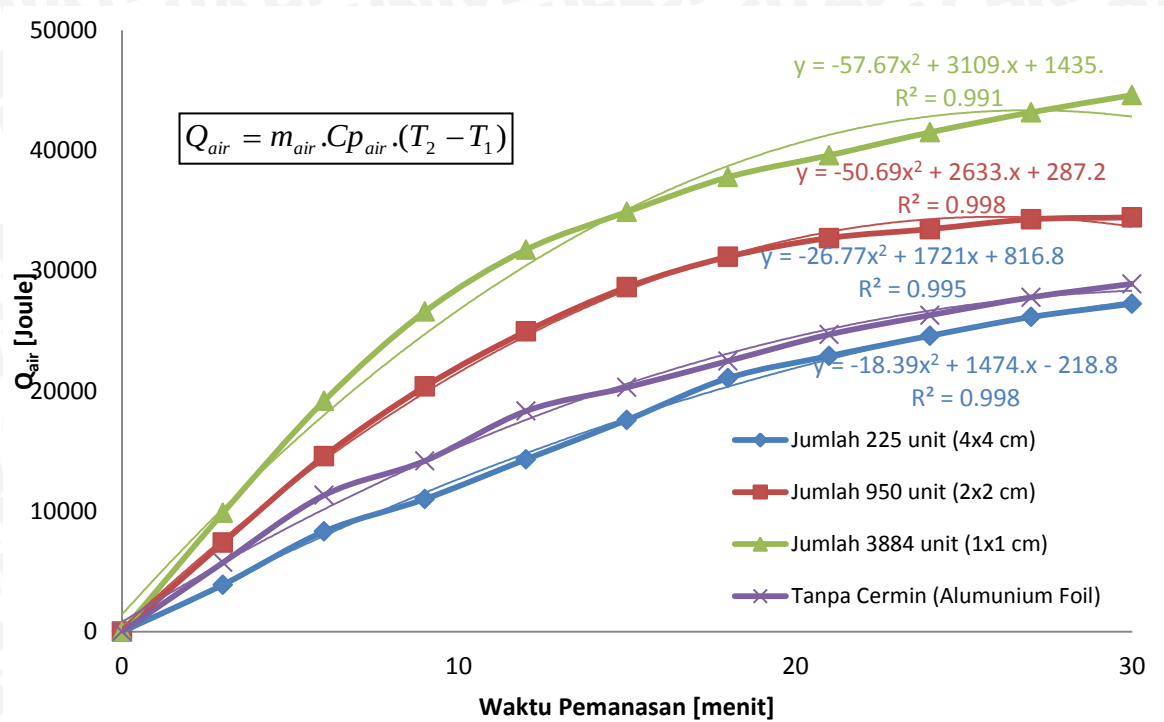
4.3.2 Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor pada Kolektor Terhadap Suhu Pemanasan Air dan Jumlah Kalor Pemanasan Air.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor pada kolektor terhadap suhu pemanasan air

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh jumlah cermin reflektor pada kolektor terhadap kenaikan suhu pemanasan air. Dari keseluruhan variasi jumlah cermin pada kolektor terhadap kenaikan suhu pemanasan air didapatkan hasil bahwa kolektor dengan jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) mampu memanaskan air sampai 44,4 °C merupakan suhu pemanasan tertinggi. Kemudian kolektor dengan jumlah cermin 950 unit (2x2 cm) mempunyai suhu pemanasan 39,93 °C. Sedangkan kolektor tanpa

cermin (aluminium foil) menghasilkan suhu pemanasan maksimal 37,57 °C. Terakhir, kolektor dengan jumlah cermin 225 unit (1x1 cm) mampu menghasilkan suhu pemanasan maksimal 36,85 °C.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap jumlah kalor pemanasan air

Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh jumlah cermin reflektor pada kolektor terhadap kenaikan jumlah kalor pemanasan air. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.20), kenaikan jumlah kalor seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 memiliki hubungan dengan kenaikan suhu pemanasan air seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Karena kenaikan suhu pemanasan air maka jumlah kalor pemanasan pun meningkat pula.

$$Q_{air} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_2 - T_1)$$

Dimana

$$Q_{air} = \text{Jumlah kalor pemanasan air [J]}$$

$$m_{air} = \text{massa air [J/Kg.}^{\circ}\text{C]}$$

$$C_{p_{air}} = \text{Panas jenis air [J/Kg.}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_2 = \text{Temperatur akhir air [}^{\circ}\text{C]}$$

$$T_1 = \text{Temperatur awal air [}^{\circ}\text{C]}$$

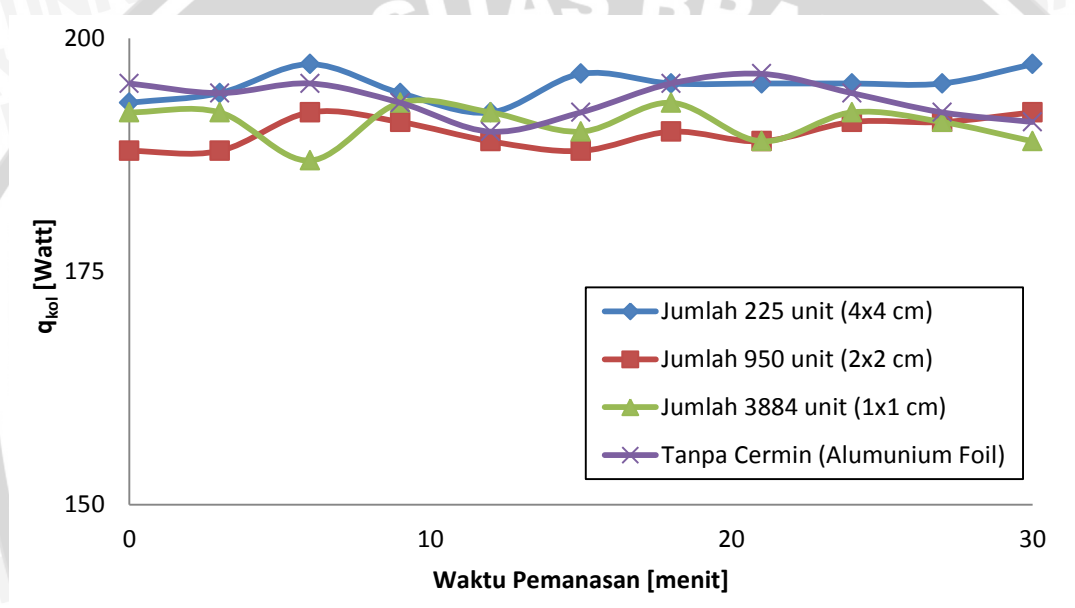
Dari keseluruhan variasi jumlah cermin pada kolektor terhadap kenaikan jumlah kalor pemanasan air didapatkan hasil bahwa jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) mampu memanaskan air sampai $44,4^{\circ}\text{C}$ merupakan suhu pemanasan tertinggi mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 44.600,6 J. Kemudian kolektor dengan jumlah cermin 950 unit (2x2 cm) mempunyai suhu pemanasan $39,93^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 34.433,911 J. Sedangkan kolektor tanpa cermin (aluminium foil) menghasilkan suhu pemanasan $37,57^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 28.916,311 J. Terakhir, kolektor dengan jumlah cermin 225 unit (1x1 cm) mampu menghasilkan suhu pemanasan $36,85^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 27.255,92 J.

Pada penelitian ini, kolektor dengan cermin paling banyak mampu memanaskan air dengan suhu tertinggi. Karena jumlah cermin yang banyak akan memiliki bentuk yang semakin melengkung. Dengan permukaan yang semakin melengkung mendekati bidang cekung, jika arah cahaya matahari yang datang tegak lurus dengan bidang kolektor, maka proses pemantulan panas matahari menuju pipa *receiver* dapat lebih terfokus. Akibatnya, suhu pemanasan pada *receiver* akan meningkat. Karena suhu pemanasan meningkat maka jumlah kalor pemanasan pun meningkat pula. Dibandingkan dengan kolektor yang mempunyai jumlah cermin yang lebih sedikit, maka proses pemantulan cahaya menuju ke pipa *receiver* menjadi kurang terfokus, sehingga suhu pemanasan air yang dihasilkan pun menjadi lebih rendah. Akibatnya, jumlah kalor pemanasan air pun rendah.

Namun pada kolektor tanpa cermin (aluminium foil) panas yang dicapai mampu hampir menyamai kolektor dengan jumlah cermin 950 (2x2 cm). Alasannya, meskipun kualitas reflektansinya rendah, namun kondisi permukaan kolektor mirip dengan bidang cekung sehingga ketika arah sinar datang tegak lurus dengan bidang kolektor maka akan dipantulkan ke titik focus (*receiver*) sehingga suhu pemanasan yang dicapai $37,57^{\circ}\text{C}$ yang mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 28.916,311 J, masih lebih rendah dari kolektor dengan jumlah cermin 950 unit (2x2 cm) dengan suhu pemanasan $39,93^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 34.433,911 J. Tetapi, ini masih lebih tinggi daripada suhu pemanasan pada kolektor dengan jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) dengan suhu pemanasan $36,85^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 27.255,92 J.

Suhu pemanasan air meningkat karena adanya perpindahan energi dari radiasi sinar matahari yang diterima kolektor, kemudian dipantulkan menuju *receiver* untuk memanaskan air di dalam *receiver*. Proses pemanasan air ini disebabkan karena pemantulan panas dari cahaya matahari menuju bidang kolektor yang kemudian dipantulkan ke pipa *receiver*. Sehingga panas dari pipa *receiver* berpindah secara konduksi akibatnya, pipa *receiver* yang terbuat dari baja itu mampu memanaskan air di dalam pipa *receiver* tersebut sehingga suhu air akan meningkat.

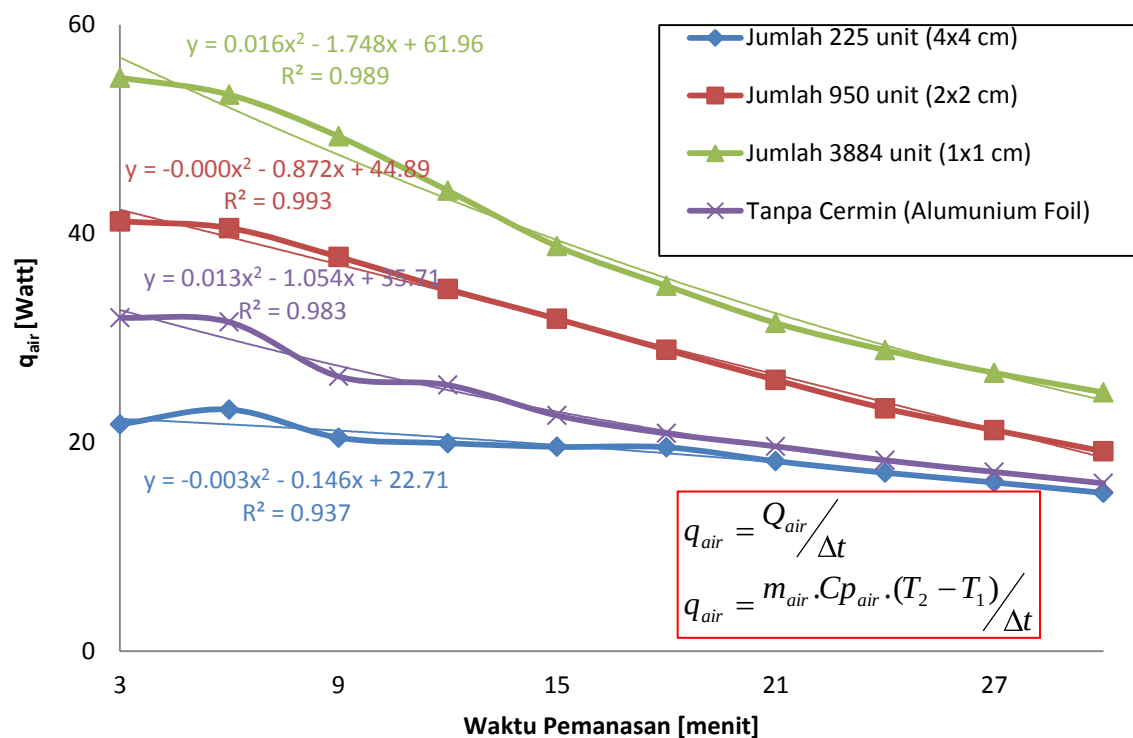
4.3.3. Pengaruh Jumlah Cermin Reflektor pada Kolektor terhadap Efisiensi *Cylindrical Parabolic Collector* (N_{cpc})



Gambar 4.5. Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor.

Untuk variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1) cm dengan luas total 0,3884 m², dari intensitas radiasi yang tersedia 743-760 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 188-193 W. Untuk variasi jumlah cermin 950 unit (2x2 cm), dari intensitas radiasi yang tersedia 739-756 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 187-192 W. Untuk variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm), dari intensitas radiasi yang tersedia 756-776 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 193-197 W. Untuk variasi jumlah tanpa cermin (aluminium foil), dari intensitas radiasi yang tersedia 747-772 W/m² jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap kolektor sebesar 189-196 W. Kondisi intensitas radiasi pada saat pengambilan data untuk variasi pada

jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) dan 950 (2x2 cm) agak sedikit kurang baik daripada kondisi intensitas radiasi pada saat pengambilan data untuk variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) dan tanpa cermin (aluminium foil).



Gambar 4.6 Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap daya pemanasan air [W]

Gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap daya pemanasan air. Untuk menghitung daya pemanasan air dapat menggunakan persamaan (2-21).

$$q_{air} = \frac{Q_{air}}{\Delta t}$$

$$q_{air} = \frac{m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_2 - T_1)}{\Delta t}$$

Dimana

q_{air} = Jumlah daya pemanasan air q_{air} [W]

Q_{air} = Jumlah kalor pemanasan air [J]

$C_{p_{air}}$ = Panas jenis air [J/Kg. $^{\circ}$ C]

m_{air} = massa air [J/Kg. $^{\circ}$ C]

T_2 = Temperatur akhir air [$^{\circ}$ C]

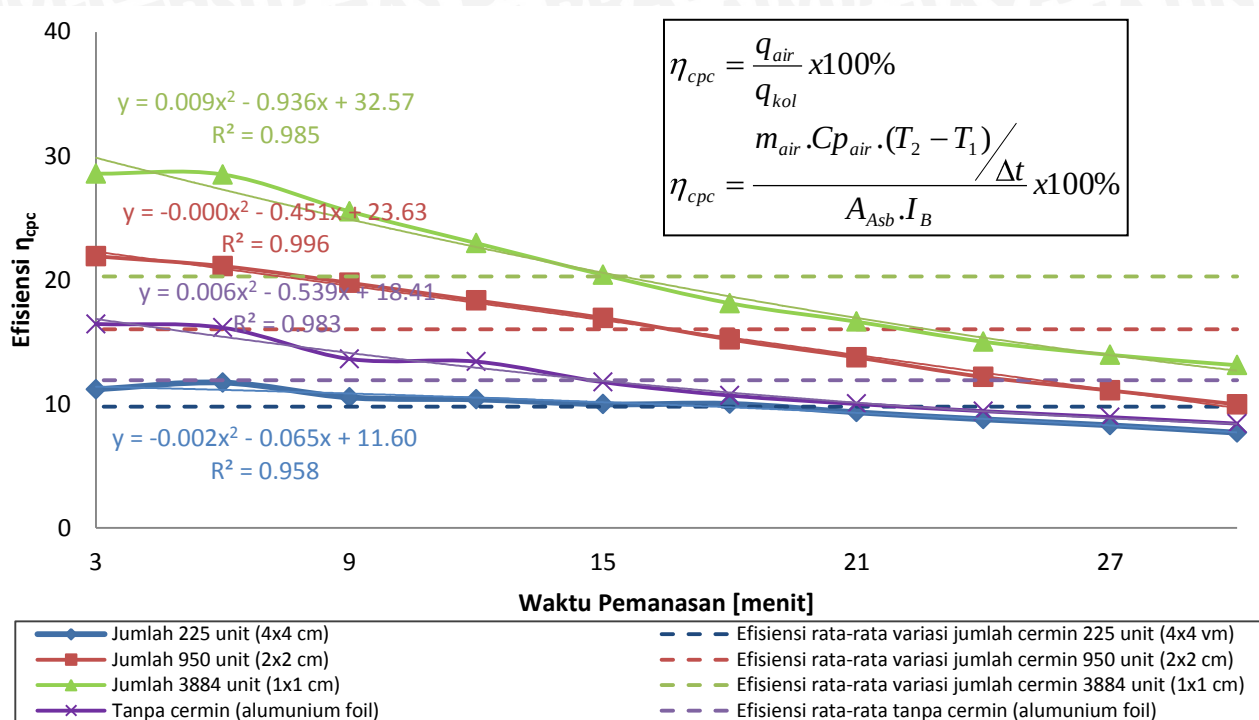
T_1 = Temperatur awal air [$^{\circ}$ C]

Δt = Selang waktu pertambahan jumlah kalor yang diterima air [s]

Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa jumlah variasi cermin 3884 unit (1x1 cm) memiliki daya pemanasan air paling tinggi. Kemudian variasi cermin 950 unit (2x2 cm) diurutkan kedua. Lalu diurutkan ketiga dengan kolektor tanpa cermin (aluminium foil). Dan, yang terakhir variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm).

Walaupun intensitas radiasi matahari yang tersedia pada saat pengambilan data untuk variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) agak lebih kecil dibandingkan dengan intensitas radiasi matahari yang tersedia pada saat pengambilan data untuk variasi jumlah cermin 225 unit atau tanpa cermin (aluminium foil). Namun untuk variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm), memiliki nilai daya pemanasan air paling tinggi karena mampu menghasilkan temperature pemanasan air yang lebih tinggi, temperature yang lebih tinggi mampu dicapai karena jumlah cermin yang banyak akan memiliki bentuk yang semakin parabolik. Dengan permukaan yang semakin melengkung mendekati bidang parabolik, jika arah cahaya matahari yang datang tegak lurus dengan bidang kolektor, maka proses pemantulan panas matahari menuju pipa *receiver* dapat lebih terfokus. Sehingga, suhu pemanasan yang mampu dicapai pada *receiver* akan menjadi lebih tinggi. Karena suhu pemanasan yang mampu dicapai menjadi lebih tinggi maka jumlah kalor pemanasan pun meningkat pula akibatnya jumlah daya pemanasan air pun meningkat pula.

Pada gambar grafik 4.6 menunjukkan bahwa jumlah daya pemanasan yang semakin menurun hal ini dikarenakan menurunnya laju kenaikan suhu pemanasan air, dan semakin bertambahnya waktu pemanasan air dengan massa air yang dipanaskan tetap. Sehingga dari daya pemanasan air yang didapat jumlahnya akan semakin menurun dengan seiring bertambahnya waktu pemanasan.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh jumlah cermin reflektor terhadap nilai efisiensi *cylindrical parabolic collector*

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh variasi jumlah cermin pada kolektor yang mempengaruhi efisiensi *cylindrical parabolic collector* (CPC). Dari keseluruhan variasi pengaruh jumlah cermin pada kolektor terhadap efisiensi *cylindrical parabolic collector* (N_{cpc}) dari hasil total efisiensi CPC kemudian dirata-ratakan maka kinerja CPC yang paling baik adalah CPC dengan jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) sebesar 20,28 [%], kemudian jumlah cermin 950 (2x2 cm) 16,02 [%], tanpa cermin (aluminium foil) 11,91 [%] kemudian jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) 9,7 [%].

$$q_{air} = \frac{m_{air} \cdot Cp_{air} \cdot (T_2 - T_1)}{\Delta t}$$

Dimana

q_{air} = Jumlah daya pemanasan air [W]

Cp_{air} = Panas jenis air [J/Kg. $^{\circ}$ C]

T_2 = Temperatur akhir air [$^{\circ}$ C]

T_1 = Temperatur awal air [$^{\circ}$ C]

Δt = Selang waktu pertambahan jumlah kalor yang diterima air [s]

Untuk mencari efisiensi *cylindrical parabolic collector* (n_{cpc}) dapat digunakan dengan menggunakan persamaan (2-22).

$$\eta_{cpc} = \frac{q_{air}}{q_{kol}} \times 100\%$$

$$\eta_{cpc} = \frac{m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_2 - T_1) / \Delta t}{A_{Asb} \cdot I_B} \times 100\%$$

Dimana

η_{cpc} = Efisiensi *Cylindrical Parabolic Collector* [%]

q_{air} = jumlah daya pemanasan air [W]

q_{kol} = Jumlah intensitas daya radiasi yang mampu diserap oleh kolektor [W]

Dengan meningkatnya suhu pemanasan berakibat meningkatnya nilai kalor pemanasan dan dengan meningkatnya nilai kalor pemanasan berakibat meningkatnya daya pemanasan air. Pada kolektor dengan jumlah cermin kolektor yang lebih banyak mampu memanaskan dengan suhu tertinggi dikarenakan karena jumlah cermin yang semakin banyak membantu proses pemantulan panas matahari menuju ke pipa *receiver* agar lebih terfokus akibatnya suhu pemanasan pada *receiver* meningkat. Dibandingkan dengan kolektor dengan jumlah cermin yang lebih sedikit maka proses pemantulan cahaya menuju ke pipa *receiver* menjadi kurang terfokus sehingga suhu pemanasan air yang dihasilkan pun menjadi lebih rendah. Karena meningkatnya suhu pemanasan air menghasilkan nilai kalor pemanasan air yang tinggi pula. Sehingga meningkatnya nilai kalor pemanasan akan berakibat daya pemanasan akan meningkat sehingga efisiensi *cylindrical parabolic collector* pun meningkat.

Pada gambar grafik 4.7 menunjukan bahwa efisiensi *cylindrical parabolic collector* yang semakin menurun hal ini dikarenakan menurunnya laju kenaikan suhu pemanasan air, dan semakin bertambahnya waktu pemanasan air dengan massa air yang dipanaskan tetap. Sehingga dari daya pemanasan air yang didapat jumlahnya akan semakin menurun dengan seiring bertambahnya waktu pemanasan. Karena daya pemanasan air yang semakin menurun dengan seiring bertambahnya waktu pemanasan akibatnya efisiensi *cylindrical parabolic collector* pun menurun pula.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) memiliki kinerja paling baik yaitu dengan suhu pemanasan air maksimal $44,4^{\circ}\text{C}$, jumlah kalor pemanasan air 44.600,6 J dan efisiensi *cylindrical parabolic collector* (CPC) 20,28 %. Hal ini disebabkan oleh, dengan semakin banyak jumlah cermin pada bidang *cylindrical parabolic collector* akan berakibat bidang kolektor memiliki bentuk yang semakin melengkung. Dengan permukaan yang semakin melengkung mendekati parabolic, maka penyimpangan untuk pemantulan cahaya menuju *receiver* yang terjadi semakin kecil. Akibatnya, dengan penyimpangan pemfokusan cahaya ke *receiver* yang semakin kecil maka proses pemanasan air di dalam *receiver* akan semakin baik sehingga suhu pemanasan air akan tinggi serta jumlah kalor pemanasan air pun akan meningkat akibatnya efisiensi dari *cylindrical parabolic collector* pun meningkat. Kemudian variasi jumlah cermin 950 unit (2x2 cm) dengan suhu pemanasan $39,93^{\circ}\text{C}$, jumlah kalor pemanasan 34.433,91 J dan efisiensi CPC 16,02 %. Lalu di urutan ketiga kolektor dengan tanpa cermin (aluminium foil) suhu pemanasan $37,57^{\circ}\text{C}$, jumlah kalor pemanasan 28.916,31 J dan efisiensi CPC 11,91 %. Terakhir, variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) dengan suhu pemanasan $36,85^{\circ}\text{C}$, jumlah kalor pemanasan 27.255,92 J dan efisiensi CPC 9,7 %.

Untuk kolektor tanpa cermin (aluminium foil) panas yang dicapai mampu hampir menyamai kolektor dengan jumlah cermin 950 (2x2 cm). Alasannya, meskipun kualitas reflektansinya rendah, namun kondisi permukaan kolektor mirip dengan bidang parabolik sehingga ketika arah sinar datang tegak lurus dengan bidang kolektor maka akan dipantulkan ke titik focus (*receiver*) sehingga suhu pemanasan yang dicapai $37,57^{\circ}\text{C}$ dengan jumlah kalor pemanasan sebesar 28.916,311 J dan efisiensi CPC 11,19 %. Lebih tinggi dari variasi jumlah cermin 225 unit (4x4 cm) namun masih lebih rendah dari variasi 950 unit (2x2 cm).

5.2 Saran

Agar untuk penelitian mengenai kinerja *cylindrical parabolic collector* di masa yang akan datang dapat lebih baik lagi, penulis ingin memberikan saran-saran yang kiranya akan bermanfaat kepada pembaca. Antara lain:

1. Untuk pipa *receiver* lebih baik menggunakan diameter pipa yang lebih kecil.
2. Untuk pipa *receiver* lebih baik menggunakan bahan dengan nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi dari baja, contohnya tembaga.
3. Untuk pipa *receiver* sebaiknya dilindungi dengan selubung kaca (*glass cover*) yang memiliki transmitansi yang tinggi agar panas yang diterima *receiver* tidak banyak terlepas ke lingkungan.
4. Untuk memperoleh proses pemanasan yang lebih baik digunakan luas bidang *cylindrical parabolic collector* yang lebih besar, jumlah cermin reflektor yang lebih banyak dan ukuran cermin reflektor yang lebih kecil.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous_a. <http://www.scilogs.eu/en/blog/spacetimesreamer/2009-06-15/the-sunniest-and-darkest-places-on-earth>. (diakses pada 4 Agustus 2012).
- Anonymous_b. http://www.engineeringtoolbox.com/surface-solar-radiation-d_1213.html. (diakses pada 4 Agustus 2012).
- Anonymous_c. <http://www.radiantcompany.com/images/solarsiphon.gif>. (diakses pada 24 Januari 2012)
- Anonymous_d. <http://www.fisika-ceria.com/>. (diakses pada 26 Januari 2012)
- Anonymous_e. <http://www.greenrhinoenergy.com/> (diakses pada 26 Januari 2012)
- Anonymous_f. [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium foil](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_foil). (diakses pada 2 Februari 2012)
- Anonymous_g. <http://www.schottsolar.com/> . (diakses pada 2 Februari 2012).
- Anonymous_h. www.casioindiaclub.com. (diakses pada 2 Februari 2012)
- Collins, T. & Parker, S.A. 2000. *Parabolic-through Solar Water Heating*. Washington D.C: DOE National Laboratory.
- Duffie, J.A. & Beckman, W.A. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Holman, J.P. 1993. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Kalogirou, Soteris. 2009. *Solar Energy Engineering of Thermal Processes*. San Diego: Elsevier Direct, Inc.
- Mawarni. 2011. Prosiding Seminar Nasional Aovoer ke-3: *Potensi Penggunaan Kompor Energi Surya untuk Kebutuhan Rumah Tangga*. Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Nurrachmandani, S. 2009. *Fisika I*. Jalarta: Pusat Perbukuan, Kementrian Pendidikan Nasional.
- Weiss, W. & Rommel, M. 2008. *Process Heat Collector*. Germany: German Federal Ministry for the Environtment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

Lampiran 1

Data Parameter Penelitian 1

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:51
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L1. Data parameter penelitian 1

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
12:51	107,802	-4,5229	25,917	13:16	-7,95	19	22,364	0,81337	54,427	35,573	1	0	0,518	31,168	31,168	0,715	35,573
12:54	107,802	-4,5229	25,917	13:19	-7,95	19,75	22,364	0,8094	54,037	35,963	1	0	0,532	32,15	32,15	0,726	35,963
12:57	107,802	-4,5229	25,917	13:22	-7,95	20,5	22,364	0,80527	53,637	36,363	1	0	0,546	33,109	33,109	0,736	36,363
13:00	107,802	-4,5229	25,917	13:25	-7,95	21,25	22,364	0,801	53,226	36,774	1	0	0,56	34,047	34,047	0,747	36,774
13:03	107,802	-4,5229	25,917	13:28	-7,95	22	22,364	0,79658	52,805	37,195	1	0	0,573	34,964	34,964	0,759	37,195
13:06	107,802	-4,5229	25,917	13:31	-7,95	22,75	22,364	0,79202	52,374	37,626	1	0	0,586	35,859	35,859	0,771	37,626
13:09	107,802	-4,5229	25,917	13:34	-7,95	23,5	22,364	0,78731	51,935	38,065	1	0	0,598	36,733	36,733	0,783	38,065
13:12	107,802	-4,5229	25,917	13:37	-7,95	24,25	22,364	0,78246	51,486	38,514	1	0	0,61	37,587	37,587	0,796	38,514
13:15	107,802	-4,5229	25,917	13:40	-7,95	25	22,364	0,77746	51,029	38,971	1	0	0,621	38,42	38,42	0,809	38,971
13:18	107,802	-4,5229	25,917	13:43	-7,95	25,75	22,364	0,77232	50,563	39,437	1	0	0,632	39,233	39,233	0,822	39,437
13:21	107,802	-4,5229	25,917	13:46	-7,95	26,5	22,364	0,76704	50,089	39,911	1	0	0,643	40,027	40,027	0,836	39,911

Lampiran 2

Input Data Penelitian 1

- Input data penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:51
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L2. Input Data Penelitian 1

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,8	6,3	25	25	25
3	7,7	6,3	26,5	27,4	26,8
6	7,6	6,4	28,5	29,4	28,7
9	7,4	6,2	29,5	30,3	29,7
12	7,6	6,2	31	32	31,2
15	7,7	6,3	32,3	33,3	32,4
18	7,7	6,4	33,5	34,6	34,9
21	7,5	6,2	34,5	35,3	35,6
24	7,6	6,2	35,4	36,5	35,7
27	7,7	6,3	36,2	37,1	36,3
30	7,7	6,4	36,6	37,4	36,8

Lampiran 3 Data Hasil Penelitian 1

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:51
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L3. Data Hasil Penelitian 1

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	26.9	4180	4368.1	24.267222	12.435397
360	842.57206	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	28.866667	4180	8889.4667	24.692963	12.45585
540	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	29.833333	4180	11111.833	20.577469	10.71471
720	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.4	4180	14713.6	20.435556	10.640815
900	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	32.666667	4180	17625.667	19.584074	10.035584
1080	853.65854	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	34.333333	4180	21457.333	19.867901	10.021948
1260	831.48559	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	35.133333	4180	23296.533	18.489312	9.6274041
1440	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	35.866667	4180	24982.467	17.348935	9.0336086
1620	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	36.533333	4180	26515.133	16.367366	8.3872268
1800	853.65854	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.933333	4180	27434.733	15.241519	7.688266

Lampiran 4 Data Parameter Penelitian 2

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L4. Data parameter penelitian 2

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
10:58	110,769	-4,8795	25,561	11:23	-7,95	-9,25	21,97	0,85478	58,735	31,265	1	0	-0,287	-16,69	-16,69	0,607	31,265
11:01	110,769	-4,8795	25,561	11:26	-7,95	-8,5	21,97	0,85664	58,941	31,059	1	0	-0,266	-15,41	-15,41	0,602	31,059
11:04	110,769	-4,8795	25,561	11:29	-7,95	-7,75	21,97	0,85833	59,13	30,87	1	0	-0,244	-14,11	-14,11	0,598	30,87
11:07	110,769	-4,8795	25,561	11:32	-7,95	-7	21,97	0,85988	59,303	30,697	1	0	-0,221	-12,79	-12,79	0,594	30,697
11:10	110,769	-4,8795	25,561	11:35	-7,95	-6,25	21,97	0,86126	59,459	30,541	1	0	-0,199	-11,46	-11,46	0,59	30,541
11:13	110,769	-4,8795	25,561	11:38	-7,95	-5,5	21,97	0,8625	59,598	30,402	1	0	-0,176	-10,12	-10,12	0,587	30,402
11:16	110,769	-4,8795	25,561	11:41	-7,95	-4,75	21,97	0,86357	59,72	30,28	1	0	-0,152	-8,76	-8,76	0,584	30,28
11:19	110,769	-4,8795	25,561	11:44	-7,95	-4	21,97	0,86449	59,824	30,176	1	0	-0,129	-7,394	-7,394	0,581	30,176
11:22	110,769	-4,8795	25,561	11:47	-7,95	-3,25	21,97	0,86525	59,911	30,089	1	0	-0,105	-6,02	-6,02	0,579	30,089
11:25	110,769	-4,8795	25,561	11:50	-7,95	-2,5	21,97	0,86585	59,98	30,02	1	0	-0,081	-4,638	-4,638	0,578	30,02
11:28	110,769	-4,8795	25,561	11:53	-7,95	-1,75	21,97	0,8663	60,031	29,969	1	0	-0,057	-3,25	-3,25	0,577	29,969

Lampiran 5

Input Data Penelitian 2

- Input data penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L5. Input Data Penelitian 2

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,7	6,1	25	25	25
3	7,7	6,2	26	27	26,2
6	7,8	6,3	27,5	28,9	28
9	7,6	6,2	29,4	30,2	29,5
12	7,6	6,2	30,7	31,7	30,9
15	7,8	6,4	32,2	33,2	32,4
18	7,7	6,2	33,2	34,3	34,6
21	7,7	6,3	34,2	35	35,3
24	7,5	6,3	35,1	36,2	35,4
27	7,6	6,4	35,9	36,8	36
30	7,5	6,4	36,4	37,2	36,7

Lampiran 6

Data Hasil Penelitian 2

- Data Hasil penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:58
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L6. Data Hasil Penelitian 2

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	853.65854	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	25	4180	0	0	0
180	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	26.4	4180	3218.6	17.881111	9.3107132
360	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	28.133333	4180	7203.5333	20.009815	10.253748
540	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	29.7	4180	10805.3	20.009815	10.419131
720	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.1	4180	14023.9	19.477639	10.142027
900	864.74501	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	32.6	4180	17472.4	19.413778	9.7928751
1080	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	34.033333	4180	20767.633	19.22929	10.012711
1260	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.833333	4180	22606.833	17.941931	9.1940905
1440	831.48559	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	35.566667	4180	24292.767	16.869977	8.6447825
1620	842.57206	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.233333	4180	25825.433	15.941626	8.0414204
1800	831.48559	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.766667	4180	27051.567	15.028648	7.580888

Lampiran 7 Data Parameter Penelitian 3

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:39
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L7. Data parameter penelitian 3

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
11:39	110,769	-4,8795	25,561	12:04	-7,95	1	21,97	0,86658	60,064	29,936	1	0	0,032	1,8586	1,8586	0,576	29,936
11:42	110,769	-4,8795	25,561	12:07	-7,95	1,75	21,97	0,8663	60,031	29,969	1	0	0,057	3,2501	3,2501	0,577	29,969
11:45	110,769	-4,8795	25,561	12:10	-7,95	2,5	21,97	0,86585	59,98	30,02	1	0	0,081	4,6377	4,6377	0,578	30,02
11:48	110,769	-4,8795	25,561	12:13	-7,95	3,25	21,97	0,86525	59,911	30,089	1	0	0,105	6,0196	6,0196	0,579	30,089
11:51	110,769	-4,8795	25,561	12:16	-7,95	4	21,97	0,86449	59,824	30,176	1	0	0,129	7,3944	7,3944	0,581	30,176
11:54	110,769	-4,8795	25,561	12:19	-7,95	4,75	21,97	0,86357	59,72	30,28	1	0	0,152	8,7603	8,7603	0,584	30,28
11:57	110,769	-4,8795	25,561	12:22	-7,95	5,5	21,97	0,8625	59,598	30,402	1	0	0,176	10,116	10,116	0,587	30,402
12:00	110,769	-4,8795	25,561	12:25	-7,95	6,25	21,97	0,86126	59,459	30,541	1	0	0,199	11,46	11,46	0,59	30,541
12:03	110,769	-4,8795	25,561	12:28	-7,95	7	21,97	0,85988	59,303	30,697	1	0	0,221	12,791	12,791	0,594	30,697
12:06	110,769	-4,8795	25,561	12:31	-7,95	7,75	21,97	0,85833	59,13	30,87	1	0	0,244	14,107	14,107	0,598	30,87
12:09	110,769	-4,8795	25,561	12:34	-7,95	8,5	21,97	0,85664	58,941	31,059	1	0	0,266	15,408	15,408	0,602	31,059

Lampiran 8

Input Data Penelitian 3

- Input data penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:39
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L8. Input Data Penelitian 3

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,8	6,3	25	25	25
3	7,8	6,3	26,5	27,3	26,6
6	7,9	6,4	28,5	29,5	28,6
9	7,9	6,4	29,5	30,5	29,6
12	7,7	6,2	30,8	31,8	31
15	7,8	6,3	32,3	33,3	32,5
18	7,8	6,3	33,3	34,4	34,7
21	7,9	6,4	34,3	35,1	35,4
24	7,9	6,4	35,2	36,3	35,5
27	7,7	6,2	36	36,9	36,2
30	7,8	6,3	36,6	37,3	36,7

Lampiran 9 Data Hasil Penelitian 3

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:39
- Variasi: Jumlah cermin 225 unit (4x4 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L9. Data Hasil Penelitian 3

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	26.8	4180	4138.2	22.99	11.780902
360	875.83149	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	28.866667	4180	8889.4667	24.692963	12.45585
540	875.83149	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	29.866667	4180	11188.467	20.719383	10.45146
720	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.2	4180	14253.8	19.796944	10.30829
900	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	32.7	4180	17702.3	19.669222	10.079216
1080	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.133333	4180	20997.533	19.44216	9.9628619
1260	875.83149	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	34.933333	4180	22836.733	18.124392	9.1424711
1440	875.83149	780.4878	0.93	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	35.666667	4180	24522.667	17.02963	8.5902413
1620	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	36.366667	4180	26131.967	16.130844	8.3993471
1800	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	36.866667	4180	27281.467	15.15637	7.766669

Lampiran 10

Data Parameter Penelitian 4

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:08
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L10. Data parameter penelitian 4

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
12:08	107,802	-4,5229	25,917	12:33	-7,95	8,25	22,364	0,8538	58,627	31,373	1	0	0,255	14,767	14,767	0,61	31,373
12:11	107,802	-4,5229	25,917	12:36	-7,95	9	22,364	0,852	58,43	31,57	1	0	0,276	16,041	16,041	0,614	31,57
12:14	107,802	-4,5229	25,917	12:39	-7,95	9,75	22,364	0,85004	58,217	31,783	1	0	0,297	17,298	17,298	0,62	31,783
12:17	107,802	-4,5229	25,917	12:42	-7,95	10,5	22,364	0,84794	57,988	32,012	1	0	0,318	18,537	18,537	0,625	32,012
12:20	107,802	-4,5229	25,917	12:45	-7,95	11,25	22,364	0,84568	57,744	32,256	1	0	0,338	19,758	19,758	0,631	32,256
12:23	107,802	-4,5229	25,917	12:48	-7,95	12	22,364	0,84326	57,486	32,514	1	0	0,358	20,96	20,96	0,637	32,514
12:26	107,802	-4,5229	25,917	12:51	-7,95	12,75	22,364	0,84069	57,213	32,787	1	0	0,377	22,142	22,142	0,644	32,787
12:29	107,802	-4,5229	25,917	12:54	-7,95	13,5	22,364	0,83797	56,926	33,074	1	0	0,396	23,303	23,303	0,651	33,074
12:32	107,802	-4,5229	25,917	12:57	-7,95	14,25	22,364	0,83509	56,625	33,375	1	0	0,414	24,444	24,444	0,659	33,375
12:35	107,802	-4,5229	25,917	13:00	-7,95	15	22,364	0,83207	56,311	33,689	1	0	0,432	25,564	25,564	0,667	33,689
12:38	107,802	-4,5229	25,917	13:03	-7,95	15,75	22,364	0,82889	55,985	34,015	1	0	0,449	26,662	26,662	0,675	34,015

Lampiran 11

Input Data Penelitian 4

- Input data penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:08
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L11. Input Data Penelitian 4

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,5	6,1	25	25	25
3	7,7	6,1	28	29	28,1
6	7,5	6,3	30,5	31,7	30,6
9	7,5	6,2	33	34	33,2
12	7,5	6,1	35	36,1	35,1
15	7,5	6,1	36,5	37,6	36,6
18	7,7	6,2	37,4	38,5	38,6
21	7,6	6,3	38,9	39,8	39
24	7,3	6,3	39,3	40	39,4
27	7,4	6,2	39,6	40,5	39,7
30	7,4	6,2	39,7	40,5	39,8

Lampiran 12

Data Hasil Penelitian 4

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:08
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L12. Data Hasil Penelitian 4

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	25	4180	0	0	0
180	853.65854	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	28.366667	4180	7739.9667	42.999815	22.757098
360	831.48559	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	30.933333	4180	13640.733	37.890926	19.416672
540	831.48559	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	33.4	4180	19311.6	35.762222	18.621426
720	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	35.4	4180	23909.6	33.207778	17.574789
900	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	36.9	4180	27358.1	30.397889	16.087691
1080	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	38.166667	4180	30270.167	28.027932	14.594173
1260	842.57206	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	39.233333	4180	32722.433	25.970185	13.308056
1440	809.31264	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	39.566667	4180	33488.767	23.256088	11.917255
1620	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	39.933333	4180	34331.733	21.192428	11.034919
1800	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	40	4180	34485	19.158333	9.9757641

Lampiran 13

Data Parameter Penelitian 5

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 09:55
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L13. Data parameter penelitian 5

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
9:55	111,758	-4,9848	25,455	10:20	-7,95	-25	21,825	0,78184	51,429	38,571	1	0	-0,629	-38,99	-38,99	0,797	38,571
9:58	111,758	-4,9848	25,455	10:23	-7,95	-24,25	21,825	0,78685	51,892	38,108	1	0	-0,618	-38,16	-38,16	0,784	38,108
10:01	111,758	-4,9848	25,455	10:26	-7,95	-23,5	21,825	0,79172	52,347	37,653	1	0	-0,606	-37,3	-37,3	0,772	37,653
10:04	111,758	-4,9848	25,455	10:29	-7,95	-22,75	21,825	0,79645	52,792	37,208	1	0	-0,594	-36,42	-36,42	0,759	37,208
10:07	111,758	-4,9848	25,455	10:32	-7,95	-22	21,825	0,80103	53,229	36,771	1	0	-0,581	-35,52	-35,52	0,747	36,771
10:10	111,758	-4,9848	25,455	10:35	-7,95	-21,25	21,825	0,80547	53,655	36,345	1	0	-0,568	-34,59	-34,59	0,736	36,345
10:13	111,758	-4,9848	25,455	10:38	-7,95	-20,5	21,825	0,80975	54,072	35,928	1	0	-0,554	-33,65	-33,65	0,725	35,928
10:16	111,758	-4,9848	25,455	10:41	-7,95	-19,75	21,825	0,8139	54,478	35,522	1	0	-0,54	-32,68	-32,68	0,714	35,522
10:19	111,758	-4,9848	25,455	10:44	-7,95	-19	21,825	0,81789	54,874	35,126	1	0	-0,525	-31,69	-31,69	0,703	35,126
10:22	111,758	-4,9848	25,455	10:47	-7,95	-18,25	21,825	0,82173	55,259	34,741	1	0	-0,51	-30,67	-30,67	0,694	34,741
10:25	111,758	-4,9848	25,455	10:50	-7,95	-17,5	21,825	0,82543	55,632	34,368	1	0	-0,495	-29,64	-29,64	0,684	34,368

Lampiran 14

Input Data Penelitian 5

- Input data penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 09:55
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L15. Input Data Penelitian 5

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,3	6	25	25	25
3	7,5	6,1	27,7	28,6	27,7
6	7,4	6,2	31	32,2	31,2
9	7,4	6,1	33,5	34,6	33,7
12	7,5	6,1	35,4	36,4	35,5
15	7,3	6	37	38,2	37,1
18	7,2	6	38,2	39,3	38,4
21	7,3	6	38,7	39,8	39
24	7,4	6,1	39,1	40	39,2
27	7,4	6,2	39,4	40,5	39,6
30	7,3	6,2	39,6	40,5	39,7

Lampiran 15

Data Hasil Penelitian 5

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 09:55
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L15. Data Hasil Penelitian

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	25	4180	0	0	0
180	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	28	4180	6897	38.316667	20.278602
360	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.466667	4180	14866.867	41.296852	21.503314
540	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	33.933333	4180	20537.733	38.03284	20.128391
720	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	35.766667	4180	24752.567	34.378565	18.194413
900	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	37.433333	4180	28584.233	31.760259	17.088853
1080	798.22616	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	38.633333	4180	31343.033	29.021327	15.61515
1260	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	39.166667	4180	32569.167	25.848545	13.90801
1440	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	39.433333	4180	33182.233	23.043218	12.195326
1620	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	39.833333	4180	34101.833	21.050514	10.961025
1800	809.31264	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	39.933333	4180	34331.733	19.073185	9.9314274

Lampiran 16

Data Parameter Penelitian 6

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L16. Data parameter penelitian 6

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
10:43	111,758	-4,9848	25,455	11:08	-7,95	-13	21,825	0,84441	57,609	32,391	1	0	-0,39	-22,94	-22,94	0,634	32,391
10:46	111,758	-4,9848	25,455	11:11	-7,95	-12,25	21,825	0,84704	57,892	32,108	1	0	-0,371	-21,75	-21,75	0,628	32,108
10:49	111,758	-4,9848	25,455	11:14	-7,95	-11,5	21,825	0,84952	58,16	31,84	1	0	-0,351	-20,54	-20,54	0,621	31,84
10:52	111,758	-4,9848	25,455	11:17	-7,95	-10,75	21,825	0,85184	58,413	31,587	1	0	-0,331	-19,3	-19,3	0,615	31,587
10:55	111,758	-4,9848	25,455	11:20	-7,95	-10	21,825	0,85401	58,651	31,349	1	0	-0,31	-18,05	-18,05	0,609	31,349
10:58	111,758	-4,9848	25,455	11:23	-7,95	-9,25	21,825	0,85602	58,873	31,127	1	0	-0,289	-16,78	-16,78	0,604	31,127
11:01	111,758	-4,9848	25,455	11:26	-7,95	-8,5	21,825	0,85788	59,079	30,921	1	0	-0,267	-15,49	-15,49	0,599	30,921
11:04	111,758	-4,9848	25,455	11:29	-7,95	-7,75	21,825	0,85958	59,269	30,731	1	0	-0,245	-14,18	-14,18	0,594	30,731
11:07	111,758	-4,9848	25,455	11:32	-7,95	-7	21,825	0,86113	59,443	30,557	1	0	-0,223	-12,86	-12,86	0,59	30,557
11:10	111,758	-4,9848	25,455	11:35	-7,95	-6,25	21,825	0,86251	59,6	30,4	1	0	-0,2	-11,52	-11,52	0,587	30,4

Lampiran 17

Input Data Penelitian 6

- Input data penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L17. Input Data Penelitian 6

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,3	6,1	25	25	25
3	7,3	6	27,9	29	28
6	7,4	6,1	31,2	32,4	31,3
9	7,4	6,2	33,8	35	34
12	7,4	6,1	36	37	36,2
15	7,5	6,1	37,6	38,5	38
18	7,5	6,2	38,6	39,2	38,8
21	7,3	6	39	39,8	39,1
24	7,3	6,1	39,4	40	39,6
27	7,4	6,1	39,7	40,5	39,7

Lampiran 18

Data Hasil Penelitian 6

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L18. Data Hasil Penelitian 6

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	25	4180	0	0	0
180	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	28.3	4180	7586.7	42.148333	22.678237
360	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	31.633333	4180	15250.033	42.361204	22.419122
540	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	34.266667	4180	21304.067	39.451975	20.542685
720	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	36.4	4180	26208.6	36.400833	19.264672
900	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	38.033333	4180	29963.633	33.292926	17.619852
1080	831.48559	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	38.866667	4180	31879.467	29.518025	15.370066
1260	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	39.3	4180	32875.7	26.091825	14.038909
1440	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	39.666667	4180	33718.667	23.415741	12.392479
1620	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	39.966667	4180	34408.367	21.239733	11.240855
1800	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	40	4180	34485	19.158333	9.9757641

Lampiran 19

Data Parameter Penelitian 7

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 16 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:02
- Variasi: Jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L19. Data parameter penelitian 7

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
10:02	114,725	-5,2567	25,183	10:27	-7,95	-23,25	21,354	0,79713	52,857	37,143	1	0	-0,609	-37,51	-37,51	0,757	37,143
10:05	114,725	-5,2567	25,183	10:30	-7,95	-22,5	21,354	0,80182	53,305	36,695	1	0	-0,596	-36,62	-36,62	0,745	36,695
10:08	114,725	-5,2567	25,183	10:33	-7,95	-21,75	21,354	0,80637	53,743	36,257	1	0	-0,584	-35,7	-35,7	0,733	36,257
10:11	114,725	-5,2567	25,183	10:36	-7,95	-21	21,354	0,81077	54,171	35,829	1	0	-0,57	-34,76	-34,76	0,722	35,829
10:14	114,725	-5,2567	25,183	10:39	-7,95	-20,25	21,354	0,81503	54,59	35,41	1	0	-0,556	-33,8	-33,8	0,711	35,41
10:17	114,725	-5,2567	25,183	10:42	-7,95	-19,5	21,354	0,81913	54,998	35,002	1	0	-0,542	-32,82	-32,82	0,7	35,002
10:20	114,725	-5,2567	25,183	10:45	-7,95	-18,75	21,354	0,82309	55,395	34,605	1	0	-0,527	-31,81	-31,81	0,69	34,605
10:23	114,725	-5,2567	25,183	10:48	-7,95	-18	21,354	0,82689	55,781	34,219	1	0	-0,512	-30,78	-30,78	0,68	34,219
10:26	114,725	-5,2567	25,183	10:51	-7,95	-17,25	21,354	0,83055	56,155	33,845	1	0	-0,496	-29,73	-29,73	0,671	33,845
10:29	114,725	-5,2567	25,183	10:54	-7,95	-16,5	21,354	0,83405	56,517	33,483	1	0	-0,479	-28,65	-28,65	0,661	33,483
10:32	114,725	-5,2567	25,183	10:57	-7,95	-15,75	21,354	0,83741	56,867	33,133	1	0	-0,463	-27,55	-27,55	0,653	33,133

Lampiran 20

Input Data Penelitian 7

- Input data penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L20. Input Data Penelitian 7

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,3	6,2	25	25	25
3	7,4	6,1	28,5	29,2	28,7
6	7,6	6	32	33,1	32,1
9	7,7	6,2	35,9	37,1	36
12	7,5	6,1	38,2	39,3	38,3
15	7,4	6	39,5	40,6	39,7
18	7,6	6,2	40,7	41,8	40,9
21	7,5	6,1	41,6	42,6	41,7
24	7,4	6,1	42,4	43,5	42,6
27	7,6	6,2	43,2	44,2	43,3
30	7,5	6	43,8	45	43,9

Lampiran 21

Data Hasil Penelitian 7

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L21. Data Hasil Penelitian 7

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	809.31264	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	25	4180	0	0	0
180	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	28.8	4180	8736.2	48.534444	25.68623
360	842.57206	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	32.4	4180	17012.6	47.257222	25.427114
540	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	36.333333	4180	26055.333	48.250617	25.124147
720	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	38.6	4180	31266.4	43.425556	22.982416
900	820.39911	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	39.933333	4180	34331.733	38.14637	20.52495
1080	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	41.133333	4180	37090.533	34.343086	17.882481
1260	831.48559	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	41.966667	4180	39006.367	30.957434	16.383823
1440	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	42.833333	4180	40998.833	28.471412	15.068128
1620	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	43.566667	4180	42684.767	26.348621	13.719755
1800	831.48559	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	44.233333	4180	44217.433	24.565241	13.217518

Lampiran 22

Data Parameter Penelitian 8

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 16 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L22. Data parameter penelitian 8

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
10:43	114,725	-5,2567	25,183	11:08	-7,95	-13	21,354	0,8484	58,038	31,962	1	0	-0,396	-23,31	-23,31	0,624	31,962
10:46	114,725	-5,2567	25,183	11:11	-7,95	-12,25	21,354	0,85104	58,325	31,675	1	0	-0,376	-22,11	-22,11	0,617	31,675
10:49	114,725	-5,2567	25,183	11:14	-7,95	-11,5	21,354	0,85352	58,597	31,403	1	0	-0,356	-20,88	-20,88	0,61	31,403
10:52	114,725	-5,2567	25,183	11:17	-7,95	-10,75	21,354	0,85585	58,854	31,146	1	0	-0,336	-19,63	-19,63	0,604	31,146
10:55	114,725	-5,2567	25,183	11:20	-7,95	-10	21,354	0,85802	59,095	30,905	1	0	-0,315	-18,35	-18,35	0,599	30,905
10:58	114,725	-5,2567	25,183	11:23	-7,95	-9,25	21,354	0,86004	59,321	30,679	1	0	-0,293	-17,06	-17,06	0,593	30,679
11:01	114,725	-5,2567	25,183	11:26	-7,95	-8,5	21,354	0,86191	59,531	30,469	1	0	-0,271	-15,75	-15,75	0,588	30,469
11:04	114,725	-5,2567	25,183	11:29	-7,95	-7,75	21,354	0,86361	59,725	30,275	1	0	-0,249	-14,43	-14,43	0,584	30,275
11:07	114,725	-5,2567	25,183	11:32	-7,95	-7	21,354	0,86516	59,901	30,099	1	0	-0,226	-13,08	-13,08	0,58	30,099
11:10	114,725	-5,2567	25,183	11:35	-7,95	-6,25	21,354	0,86656	60,061	29,939	1	0	-0,203	-11,72	-11,72	0,576	29,939
11:13	114,725	-5,2567	25,183	11:38	-7,95	-5,5	21,354	0,86779	60,203	29,797	1	0	-0,18	-10,35	-10,35	0,573	29,797

Lampiran 23

Input Data Penelitian 8

- Input data penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L23. Input Data Penelitian 8

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,3	6,1	25	25	25
3	7,4	6,2	29	30,1	29,2
6	7,4	6	33,2	34,2	33,3
9	7,6	6,2	36,2	37,3	36,3
12	7,7	6,3	38,5	39,7	38,6
15	7,6	6,2	39,9	41,1	40,1
18	7,5	6,2	41,1	42,2	41,3
21	7,3	6,1	42	42,9	42,2
24	7,7	6,3	42,8	43,7	42,9
27	7,3	6,1	43,5	44,5	43,5
30	7,3	6	44	45,3	44,1

Lampiran 24

Data Hasil Penelitian 8

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 10:43
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L24. Data Hasil Penelitian 8

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	25	4180	0	0	0
180	820.39911	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	29.433333	4180	10192.233	56.623519	29.483925
360	820.39911	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	33.566667	4180	19694.767	54.707685	29.435894
540	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	36.6	4180	26668.4	49.385926	25.715303
720	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	38.933333	4180	32032.733	44.489907	22.798228
900	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	40.366667	4180	35327.967	39.253296	20.439232
1080	831.48559	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	41.533333	4180	38010.133	35.194568	18.325848
1260	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	42.366667	4180	39925.967	31.687275	16.770082
1440	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	43.133333	4180	41688.533	28.95037	14.83521
1620	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	43.833333	4180	43297.833	26.727058	14.144951
1800	809.31264	731.70732	0.93	0.6	1	1	0.254	185.85366	0.55	44.466667	4180	44753.867	24.863259	13.377869

Lampiran 25

Data Parameter Penelitian 9

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 16 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:25
- Variasi: Jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L25. Data parameter penelitian 9

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
11:25	114,725	-5,2567	25,183	11:50	-7,95	-2,5	21,354	0,87116	60,594	29,406	1	0	-0,083	-4,746	-4,746	0,564	29,406
11:28	114,725	-5,2567	25,183	11:53	-7,95	-1,75	21,354	0,87161	60,646	29,354	1	0	-0,058	-3,326	-3,326	0,562	29,354
11:31	114,725	-5,2567	25,183	11:56	-7,95	-1	21,354	0,8719	60,68	29,32	1	0	-0,033	-1,902	-1,902	0,562	29,32
11:34	114,725	-5,2567	25,183	11:59	-7,95	-0,25	21,354	0,87203	60,695	29,305	1	0	-0,008	-0,476	-0,476	0,561	29,305
11:37	114,725	-5,2567	25,183	12:02	-7,95	0,5	21,354	0,872	60,692	29,308	1	0	0,017	0,9514	0,9514	0,561	29,308
11:40	114,725	-5,2567	25,183	12:05	-7,95	1,25	21,354	0,87182	60,671	29,329	1	0	0,041	2,3772	2,3772	0,562	29,329
11:43	114,725	-5,2567	25,183	12:08	-7,95	2	21,354	0,87148	60,631	29,369	1	0	0,066	3,8	3,8	0,563	29,369
11:46	114,725	-5,2567	25,183	12:11	-7,95	2,75	21,354	0,87098	60,572	29,428	1	0	0,091	5,2181	5,2181	0,564	29,428
11:49	114,725	-5,2567	25,183	12:14	-7,95	3,5	21,354	0,87032	60,496	29,504	1	0	0,115	6,6295	6,6295	0,566	29,504
11:52	114,725	-5,2567	25,183	12:17	-7,95	4,25	21,354	0,8695	60,401	29,599	1	0	0,14	8,0327	8,0327	0,568	29,599
11:55	114,725	-5,2567	25,183	12:20	-7,95	5	21,354	0,86853	60,288	29,712	1	0	0,164	9,426	9,426	0,571	29,712

Lampiran 26

Input Data Penelitian 9

- Input data penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:25
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L26. Input Data Penelitian 9

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7,6	6,3	25	25	25
3	7,6	6,3	29,2	30,4	29,4
6	7,3	6,1	33,6	34,8	33,8
9	7,7	6,3	36,3	37,7	36,4
12	7,7	6,2	38,5	39,6	38,6
15	7,6	6,2	39,8	40,9	40
18	7,6	6,3	41,2	42,3	41,4
21	7,4	6,1	42	42,9	42,1
24	7,5	6,2	42,8	43,8	43
27	7,6	6,2	43,6	44,6	43,6
30	7,8	6,3	44	45,3	44,2

Lampiran 27

Data Hasil Penelitian 9

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Jumat, 13 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:25
- Variasi: Jumlah cermin 950 unit (2x2 cm)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L27. Data Hasil Penelitian 9

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	842.57206	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	842.57206	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	29.666667	4180	10728.667	59.603704	30.54308
360	809.31264	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	34.066667	4180	20844.267	57.900741	30.643222
540	853.65854	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	36.8	4180	27128.2	50.237407	25.743453
720	853.65854	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	38.9	4180	31956.1	44.383472	23.11052
900	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	40.233333	4180	35021.433	38.912704	20.261885
1080	842.57206	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	41.633333	4180	38240.033	35.407438	18.144044
1260	820.39911	743.90244	0.93	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	42.333333	4180	39849.333	31.626455	16.737894
1440	831.48559	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	43.2	4180	41841.8	29.056806	15.129909
1620	842.57206	756.09756	0.93	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	43.933333	4180	43527.733	26.868971	13.990701
1800	864.74501	768.29268	0.93	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	44.5	4180	44830.5	24.905833	12.762644

Lampiran 28

Data Parameter Penelitian 10

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:24
- Variasi: Tanpa cermin (aluminum foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L28. Data parameter penelitian 10

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
11:24	107.802	-4.5229	25.917	11:49	-7.95	-2.75	22.364	0.86222	59.567	30.433	1	0	-0.088	-5.025	-5.025	0.587	30.433
11:27	107.802	-4.5229	25.917	11:52	-7.95	-2	22.364	0.86272	59.623	30.377	1	0	-0.064	-3.659	-3.659	0.586	30.377
11:30	107.802	-4.5229	25.917	11:55	-7.95	-1.25	22.364	0.86306	59.661	30.339	1	0	-0.04	-2.289	-2.289	0.585	30.339
11:33	107.802	-4.5229	25.917	11:58	-7.95	-0.5	22.364	0.86324	59.682	30.318	1	0	-0.016	-0.916	-0.916	0.585	30.318
11:36	107.802	-4.5229	25.917	12:01	-7.95	0.25	22.364	0.86327	59.685	30.315	1	0	0.008	0.458	0.458	0.585	30.315
11:39	107.802	-4.5229	25.917	12:04	-7.95	1	22.364	0.86313	59.67	30.33	1	0	0.032	1.8316	1.8316	0.585	30.33
11:42	107.802	-4.5229	25.917	12:07	-7.95	1.75	22.364	0.86285	59.638	30.362	1	0	0.056	3.2029	3.2029	0.586	30.362
11:45	107.802	-4.5229	25.917	12:10	-7.95	2.5	22.364	0.8624	59.587	30.413	1	0	0.08	4.5705	4.5705	0.587	30.413
11:48	107.802	-4.5229	25.917	12:13	-7.95	3.25	22.364	0.8618	59.519	30.481	1	0	0.103	5.9327	5.9327	0.589	30.481
11:51	107.802	-4.5229	25.917	12:16	-7.95	4	22.364	0.86104	59.434	30.566	1	0	0.127	7.2879	7.2879	0.591	30.566
11:54	107.802	-4.5229	25.917	12:19	-7.95	4.75	22.364	0.86013	59.331	30.669	1	0	0.15	8.6347	8.6347	0.593	30.669

Lampiran 29

Input Data Penelitian 10

- Input data penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:24
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L29. Input Data Penelitian 10

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7.6	6.3	25	25	25
3	7.4	6.2	27.2	28.2	27.3
6	7.8	6.4	29.3	31.4	29.4
9	7.7	6.4	30.8	32	30.9
12	7.5	6.2	32.6	33	32.9
15	7.4	6.1	33.6	34.2	33.8
18	7.6	6.3	34.6	35.4	34.7
21	7.7	6.4	35.5	36.3	35.6
24	7.6	6.2	36.2	36.3	36.4
27	7.5	6.2	36.9	37.7	37
30	7.8	6.3	37.3	38.2	37.5

Lampiran 30

Data Hasil Penelitian 10

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Senin, 9 Juli 2012
- Waktu: Pukul 11:24
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L30. Data Hasil Penelitian 10

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	842.57206	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	820.39911	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	27.566667	4180	5900.7667	32.782037	17.069641
360	864.74501	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	30.033333	4180	11571.633	32.143426	16.21408
540	853.65854	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	31.233333	4180	14330.433	26.53784	13.386459
720	831.48559	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	32.833333	4180	18008.833	25.012269	13.023914
900	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	33.866667	4180	20384.467	22.649407	11.986907
1080	842.57206	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.9	4180	22760.1	21.074167	10.799161
1260	853.65854	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	35.8	4180	24829.2	19.705714	9.9401364
1440	842.57206	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	36.3	4180	25978.7	18.040764	9.3938445
1620	831.48559	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	37.2	4180	28047.8	17.313457	9.015135
1800	864.74501	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	37.666667	4180	29120.667	16.178148	8.2902646

Lampiran 31

Data Parameter Penelitian 11

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:19
- Variasi: Tanpa cermin (aluminum foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L31. Data parameter penelitian 11

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
12:19	110.769	-4.8795	25.561	12:44	-7.95	11	21.97	0.84985	58.195	31.805	1	0	0.336	19.619	19.619	0.62	31.805
12:22	110.769	-4.8795	25.561	12:47	-7.95	11.75	21.97	0.84748	57.938	32.062	1	0	0.356	20.841	20.841	0.626	32.062
12:25	110.769	-4.8795	25.561	12:50	-7.95	12.5	21.97	0.84495	57.667	32.333	1	0	0.375	22.042	22.042	0.633	32.333
12:28	110.769	-4.8795	25.561	12:53	-7.95	13.25	21.97	0.84227	57.381	32.619	1	0	0.394	23.223	23.223	0.64	32.619
12:31	110.769	-4.8795	25.561	12:56	-7.95	14	21.97	0.83944	57.081	32.919	1	0	0.413	24.383	24.383	0.647	32.919
12:34	110.769	-4.8795	25.561	12:59	-7.95	14.75	21.97	0.83646	56.768	33.232	1	0	0.431	25.521	25.521	0.655	33.232
12:37	110.769	-4.8795	25.561	13:02	-7.95	15.5	21.97	0.83332	56.441	33.559	1	0	0.448	26.636	26.636	0.663	33.559
12:40	110.769	-4.8795	25.561	13:05	-7.95	16.25	21.97	0.83003	56.102	33.898	1	0	0.465	27.73	27.73	0.672	33.898
12:43	110.769	-4.8795	25.561	13:08	-7.95	17	21.97	0.82659	55.75	34.25	1	0	0.482	28.801	28.801	0.681	34.25
12:46	110.769	-4.8795	25.561	13:11	-7.95	17.75	21.97	0.823	55.386	34.614	1	0	0.498	29.849	29.849	0.69	34.614
12:49	110.769	-4.8795	25.561	13:14	-7.95	18.5	21.97	0.81926	55.011	34.989	1	0	0.513	30.875	30.875	0.7	34.989

Lampiran 32

Input Data Penelitian 11

- Input data penelitian
- Tanggal: Kamis, 11 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:19
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L32. Input Data Penelitian 11

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7.5	6.3	25	25	25
3	7.5	6.2	26.9	28	27
6	7.4	6.1	29	31.1	29.1
9	7.4	6.1	30.5	31.5	30.7
12	7.3	6.1	32.4	33.5	32.6
15	7.6	6.3	33.3	34.2	33.4
18	7.7	6.3	34.2	35.2	34.3
21	7.5	6.2	35.2	36.3	35.4
24	7.4	6.2	36	37.1	36.2
27	7.4	6.1	36.5	37.5	36.6
30	7.3	6.1	37	38.1	37.1

Lampiran 33

Data Hasil Penelitian 11

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Kamis, 11 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:19
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L33. Data Hasil Penelitian 11

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	831.48559	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	831.48559	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	27.3	4180	5287.7	29.376111	15.296172
360	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	29.733333	4180	10881.933	30.227593	15.997564
540	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	30.9	4180	13564.1	25.118704	13.293751
720	809.31264	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	32.833333	4180	18008.833	25.012269	13.237421
900	842.57206	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	33.633333	4180	19848.033	22.05337	11.30094
1080	853.65854	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.566667	4180	21993.767	20.364599	10.435552
1260	831.48559	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	35.633333	4180	24446.033	19.401614	10.10244
1440	820.39911	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	36.433333	4180	26285.233	18.253634	9.5046864
1620	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	36.866667	4180	27281.467	16.840412	8.912571
1800	809.31264	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	37.4	4180	28507.6	15.837556	8.3818224

Lampiran 34 Data Parameter Penelitian 12

- Data Parameter Penelitian
- Tanggal: Kamis, 12 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:55
- Variasi: Tanpa cermin (aluminum foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L34. Data parameter penelitian 12

LST	B	ET	AST	AST	L	h	δ	$\sin \alpha = \cos \Phi$	α	Φ	$\cos \theta$	θ	$\sin z$	z	z_s	$\tan \beta$	β
12:55	110.769	-4.8795	25.561	13:20	-7.95	20	21.97	0.81133	54.226	35.774	1	0	0.543	32.859	32.859	0.721	35.774
12:58	110.769	-4.8795	25.561	13:23	-7.95	20.75	21.97	0.80715	53.818	36.182	1	0	0.557	33.818	33.818	0.731	36.182
13:01	110.769	-4.8795	25.561	13:26	-7.95	21.5	21.97	0.80281	53.4	36.6	1	0	0.57	34.754	34.754	0.743	36.6
13:04	110.769	-4.8795	25.561	13:29	-7.95	22.25	21.97	0.79834	52.971	37.029	1	0	0.583	35.669	35.669	0.754	37.029
13:07	110.769	-4.8795	25.561	13:32	-7.95	23	21.97	0.79371	52.534	37.466	1	0	0.596	36.562	36.562	0.766	37.466
13:10	110.769	-4.8795	25.561	13:35	-7.95	23.75	21.97	0.78894	52.087	37.913	1	0	0.608	37.433	37.433	0.779	37.913
13:13	110.769	-4.8795	25.561	13:38	-7.95	24.5	21.97	0.78403	51.631	38.369	1	0	0.62	38.284	38.284	0.792	38.369
13:16	110.769	-4.8795	25.561	13:41	-7.95	25.25	21.97	0.77897	51.166	38.834	1	0	0.631	39.114	39.114	0.805	38.834
13:19	110.769	-4.8795	25.561	13:44	-7.95	26	21.97	0.77377	50.694	39.306	1	0	0.642	39.924	39.924	0.819	39.306
13:22	110.769	-4.8795	25.561	13:47	-7.95	26.75	21.97	0.76843	50.213	39.787	1	0	0.652	40.713	40.713	0.833	39.787
13:25	110.769	-4.8795	25.561	13:50	-7.95	27.5	21.97	0.76295	49.725	40.275	1	0	0.662	41.483	41.483	0.847	40.275

Lampiran 35

Input Data Penelitian 12

- Input data penelitian
- Tanggal: Kamis, 11 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:55
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L35. Input Data Penelitian 12

Waktu [menit]	I_T [mV]	I_B [mV]	T_c [$^{\circ}\text{C}$]	T_d [$^{\circ}\text{C}$]	T_{dc} [$^{\circ}\text{C}$]
0	7.6	6.3	25	25	25
3	7.7	6.4	27.2	28.3	27.4
6	7.8	6.4	29.3	31.4	29.4
9	7.6	6.2	31	32.1	31.1
12	7.4	6.1	32.8	34	33
15	7.5	6.2	33.7	34.5	33.8
18	7.6	6.3	34.6	35.4	34.7
21	7.7	6.4	35.5	36.3	35.6
24	7.8	6.4	36.3	37	36.5
27	7.7	6.3	36.9	37.7	37
30	7.4	6.1	37.3	38.2	37.5

Lampiran 36

Data Hasil Penelitian 12

- Data hasil penelitian
- Tanggal: Kamis, 11 Juli 2012
- Waktu: Pukul 12:55
- Variasi: Tanpa cermin (aluminium foil)
- Volume air: 550 ml
- Jarak focus: 6,27 cm

Tabel L36. Data Hasil Penelitian 12

detik	I_T [W/m ²]	I_B [W/m ²]	ε [%]	α	τ	γ	A_{asb} [m ²]	Q_{kol} [W]	massa (kg)	T_{air} [°C]	$C_{p_{air}}$ [J/kg.°C]	Q_{air} [J]	q_{air} [W]	η_k [%]
0	842.57206	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	25	4180	0	0	0
180	853.65854	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	27.633333	4180	6054.0333	33.633519	16.965727
360	864.74501	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	30.033333	4180	11571.633	32.143426	16.21408
540	842.57206	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	31.4	4180	14713.6	27.247407	14.187753
720	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	33.266667	4180	19005.067	26.395926	13.969704
900	831.48559	756.09756	0.8	0.6	1	1	0.254	192.04878	0.55	34	4180	20691	22.99	11.970917
1080	842.57206	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	34.9	4180	22760.1	21.074167	10.799161
1260	853.65854	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	35.8	4180	24829.2	19.705714	9.9401364
1440	864.74501	780.4878	0.8	0.6	1	1	0.254	198.2439	0.55	36.6	4180	26668.4	18.519722	9.3418874
1620	853.65854	768.29268	0.8	0.6	1	1	0.254	195.14634	0.55	37.2	4180	28047.8	17.313457	8.8720376
1800	820.39911	743.90244	0.8	0.6	1	1	0.254	188.95122	0.55	37.666667	4180	29120.667	16.178148	8.5620766

Lampiran 37

Sifat fisik air

Tabel L1. Sifat fisik air

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg-°C)	ν (m ² /s) $\times 10^{-6}$	k (W/m-°C)	α (m ² /s) $\times 10^{-7}$	Pr	β (K ⁻¹) $\times 10^{-3}$
0	1002.28	4.2178	1.788	0.552	1.308	13.6	
20	1000.52	4.1818	1.006	0.597	1.430	7.02	0.18
40	994.59	4.1784	0.658	0.628	1.512	4.34	
60	985.46	4.1843	0.478	0.651	1.554	3.02	
80	974.08	4.1964	0.364	0.668	1.636	2.22	
100	960.63	4.2161	0.294	0.680	1.680	1.74	
120	945.25	4.250	0.247	0.685	1.708	1.446	
140	928.27	4.283	0.214	0.684	1.724	1.241	
160	909.69	4.342	0.190	0.680	1.729	1.099	
180	889.03	4.417	0.173	0.675	1.724	1.004	
200	866.76	4.505	0.160	0.665	1.706	0.937	
220	842.41	4.610	0.150	0.652	1.680	0.891	
240	815.66	4.756	0.143	0.635	1.639	0.871	
260	785.87	4.949	0.137	0.611	1.577	0.874	
280	752.55	5.208	0.135	0.580	1.481	0.910	
300	714.26	5.728	0.135	0.540	1.324	1.019	
Notes: T = temperature, ρ = density, c_p = specific heat capacity, $\nu = \mu/\rho$ = kinetic viscosity, k = thermal conductivity, $\alpha = c_p/k$ = heat (thermal) diffusivity, Pr = Prandtl number, β = coefficient of volumetric expansion of fluid							

Sumber: (Kalogirou, 2009:728)

Lampiran 38**Nilai absorptivitas material**

Tabel L2. Nilai absorptivitas material

Permukaan	Absorptivitas (α)	
	Untuk Radiasi surya	Untuk Radiasi suhu rendah $\sim 25^{\circ}\text{C}$
Alumunium, diupam sangat	0,15	0,04
Tembaga, diupam sangat	0,18	0,03
Tembaga, pudar	0,65	0,75
Besi cor	0,94	0,21
Baja tahan karat no. 301 diupam	0,37	0,60
Pualam putih	0,46	0,95
Aspal	0,90	0,90
Bata Merah	0,75	0,93
Kerikil	0,29	0,85
Lak hitam	0,96	0,95
Cat putih, berbagai jenis pigmen	0,12-0,16	0,90-0,95

Sumber: (Holman, 1993:423)