

**PENGARUH BENTUK PENAMPANG RECEIVER TERHADAP
KINERJA PEMANAS AIR TENAGA SURYA TIPE *CYLINDRICAL
PARABOLIC COLLECTOR***

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

WILDAN KURNIAWAN RAMADHANI

NIM. 0710620031-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH BENTUK PENAMPANG RECEIVER 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 :
WILDAN KURNIAWAN R
NIM. 0710620031-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI RASIO LEBAR CERMIN
DENGAN LEBAR *PHOTOVOLTAIC*
PADA KINERJA *CONCENTRATING PHOTOVOLTAIC*
MIRROR SYSTEM

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

WILDAN KURNIAWAN RAMADHANI

NIM. 0710620031-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 30 Juli 2013

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 19590411198710 1 001

Prof. Dr. Rudy Soenoko, M. Eng. Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

Komprehensif

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul "**Pengaruh Bentuk Penampang Receiver Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Cylindrical Parabolic Collector**" ini dapat terselesaikan.

Penyusun mengucapkan terimakasih 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. Lilis Yulianti, ST.,MT dan Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan masukan serta meluangkan waktu untuk berdiskusi selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak dosen penguji selaku majelis penguji skripsi.
5. Keluargaku, Ibu Juar Tatik dan Bapak Sudarman serta saudara-saudariku.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen kampus Brawijaya khususnya Jurusan Mesin.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Mesin serta Fakultas Teknik.
8. Keluarga besar X-Treme M'07, Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Lab. Surya dan Energi Alternatif, dan KBMM.
9. 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 2013

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Matahari	5
2.2.1 Radiasi Matahari	6
2.2.2 Cahaya	10
2.2.3 Pemantulan Cahaya	13
2.2.3.1 Pemantulan Cahaya Pada Cermin Datar	14
2.2.3.2 Pemantulan Cahaya Pada Cermin Cekung	15
2.2.3.3 Pemantulan Cahaya Pada Cermin Cembung	17
2.3 Kolektor Terkonsentrasi dan Prinsip Kerjanya	19
2.4 Perpindahan Panas	23
2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi	24
2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi	24
2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi	24
2.5 Hipotesis	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	26

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	26
3.3 Variable Penelitian	26
3.4 Peralatan Penelitian	27
3.5 Skema Instalasi Penelitian	29
3.6 Prosedur Penelitian	30
3.7 Diagram Alir Penelitian	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

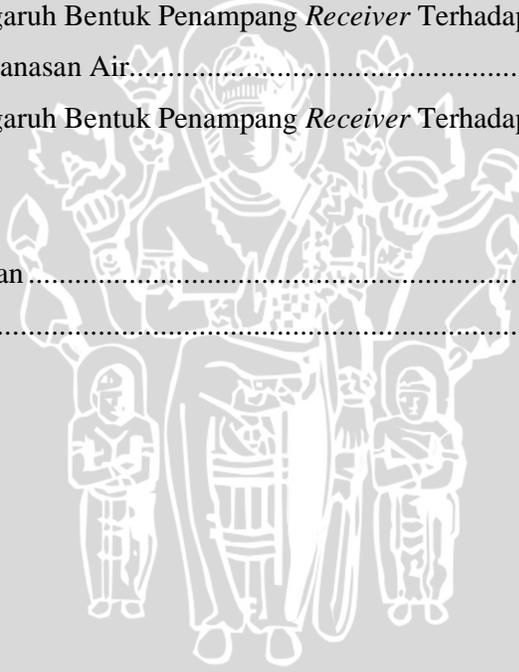
4.1 Data Hasil Penelitian	32
4.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian	33
4.3 Grafik dan Pembahasan	36
4.3.1 Grafik Jumlah Intensitas Radiasi Yang Masuk Ke Kolektor	36
4.3.2 Pengaruh Bentuk Penampang <i>Receiver</i> Terhadap Jumlah Kalor Pemanasan Air	37
4.3.1 Pengaruh Bentuk Penampang <i>Receiver</i> Terhadap Efisiensi	39

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43

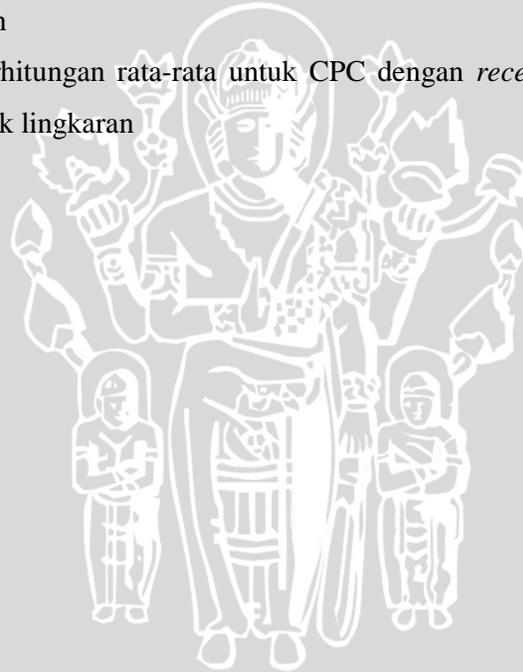
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No. Tabel	Judul	Halaman
Tabel2.1	Keterangan mengenai rata-rata jumlah hari dalam bulan dan nilai n terhadap bulan.	8
Tabel2.2	Keterangan mengenai spectrum gelombang elektromagnetik	12
Tabel 2.3	Reflektifitas Cermin	20
Tabel 2.4	Properti Material Baja	21
Tabel 4.1	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran	32
Tabel 4.2	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran	35
Tabel 4.3	Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran	36



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pemanas air tenaga surya tipe <i>cylindrical parabolic collector</i>	4
Gambar 2.2	Jarak antara matahari dengan bumi	5
Gambar 2.3	Pergerakan harian matahari dari terbit hingga terbenam	9
Gambar 2.4	Sifat pemantulan cahaya pada cermin cembung Konfigurasi sudut datang radiasi pada bidang kolektor Cara kerja <i>photovoltaic</i>	10
Gambar 2.5	Spektrum gelombang elektromagnetik	11
Gambar 2.6	Berkas cahaya menyebar, mengumpul dan sejajar	13
Gambar 2.7	Pemantulan teratur dan pemantulan baur	14
Gambar 2.8	Hukum snellius	14
Gambar 2.9	Pembentukan bayangan pada cermin datar	15
Gambar 2.10	Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung	15
Gambar 2.11	Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung	16
Gambar 2.12	Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung	16
Gambar 2.13	Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung	16
Gambar 2.14	Sinar istimewa pada cermin cembung	17
Gambar 2.15	Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung	18
Gambar 2.16	Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung	18
Gambar 2.17	Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung	18
Gambar 2.18	Kolektor Terkonsentrasi	19
Gambar 2.19	Pipa <i>Receiver</i>	21
Gambar 2.20	<i>Cylindrical parabolic collector</i> dengan <i>solar tracking</i>	22
Gambar 3.1	Gambar penampang <i>Ireceiver</i>	26
Gambar 3.2	<i>Infrared Thermometer</i>	27
Gambar 3.3	Termokopel	28
Gambar 3.4	<i>Pyranometer</i>	28
Gambar 3.5	<i>Pyrheliometer</i>	29
Gambar 3.6	Skema Instalasi Penelitian	30
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Jumlah intensitas daya radiasi yang masuk ke kolektor	36
Gambar 4.2	Grafik rata-rata kenaikan temperatur air pada masing-masing variasi penampang bentuk <i>receiver</i> .	37
Gambar 4.3	Grafik pengaruh bentuk penampang <i>receiver</i> terhadap jumlah kalor pemanasan air	38
Gambar 4.4	Grafik pengaruh bentuk penampang <i>receiver</i> terhadap daya pemanasan air [W]	40
Gambar 4.5	Grafik pengaruh bentuk penampang <i>receiver</i> terhadap nilai efisiensi <i>cylindrical parabolic collector</i> (CPC)	41

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.1	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 1
Lampiran 1.2	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 2
Lampiran 1.3	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 3
Lampiran 1.4	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 1
Lampiran 1.5	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 2
Lampiran 1.6	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 3
Lampiran 1.7	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 1
Lampiran 1.8	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 2
Lampiran 1.9	Data hasil penelitian untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 3
Lampiran 2.1	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 1
Lampiran 2.2	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 2
Lampiran 2.3	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran 3
Lampiran 2.4	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 1
Lampiran 2.5	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 2
Lampiran 2.6	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga 3
Lampiran 2.7	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 1
Lampiran 2.8	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 2
Lampiran 2.9	Data perhitungan untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi 3
Lampiran 2.10	Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk lingkaran.
Lampiran 2.11	Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk segitiga.
Lampiran 2.12	Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan <i>receiver</i> berbentuk persegi.

RINGKASAN

Wildan Kurniawan Ramadhani, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Pengaruh Bentuk Penampang Receiver Terhadap Kinerja Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Cylindrical Parabolic Collector*, Dosen pembimbing: Lilis Yuliati dan Mega Nur Sasongko.

Salah satu pemanfaatan energi matahari selain untuk pembangkit energi listrik adalah untuk pemanas air. Pemanas air tenaga surya yang banyak digunakan pada umumnya memiliki tipe desain *flat-plate Collector* (FPC). Namun, 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. Adapun jenis kolektor terkonsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *cylindrical parabolic collector* (CPC)

Dalam penelitian ini diamati kinerja CPC dengan *receiver* yang memiliki bentuk penampang lingkaran, segitiga, dan persegi. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja dari pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*. Alat ukur radiasi yang digunakan berupa *pyranometer* untuk mengukur radiasi total (*total radiation*) dan *pyrheliometer* untuk mengukur radiasi langsung (*beam radiation*) sedangkan untuk mengukur daya listrik digunakan avometer digital. Penelitian dilakukan di laboratorium Surya dan Energi Alternatif Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada Januari 2013.

Hasil penelitian ini yaitu temperatur air maksimal dicapai pada CPC dengan *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran, sebesar 45,6°C. berikutnya temperatur air maksimal pada CPC dengan *receiver* berpenampang segitiga dan persegi adalah 45,1°C dan 42,8°C. CPC dengan *receiver* berpenampang lingkaran mempunyai efisiensi tertinggi, yaitu 8,02%, selanjutnya efisiensi CPC dengan penampang berbentuk segitiga dan persegi adalah 7,11% dan 6,42%. Hal ini dikarenakan peningkatan suhu pemanasan pada CPC dengan *receiver* berbentuk lingkaran lebih tinggi sehingga meningkatnya nilai kalor pemanasan juga tinggi dan dengan meningkatnya nilai kalor pemanasan berakibat meningkatnya daya pemanasan air. Pada CPC dengan *receiver* yang memiliki bentuk penampang lingkaran mampu memanaskan dengan suhu tertinggi dikarenakan luas permukaan yang terkena pantulan sinar matahari semakin banyak dan bentuk yang menyerupai bidang kolektor membantu proses pemanasan akibatnya suhu pemanasan pada air meningkat. Dibandingkan dengan kolektor yang memiliki *receiver* dengan penampang segitiga dan persegi proses pemantulan cahaya menuju *receiver* menjadi kurang maksimal karena bentuk yang berbeda dengan bidang kolektor sehingga suhu pemanasan air yang dihasilkan pun menjadi lebih rendah.

Kata kunci: *Cylindrical Parabolic Collector, Bentuk Penampang Receiver, Kinerja*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi di dunia ini semakin meningkat dan selama ini hampir semua kebutuhan energi tersebut dipenuhi dengan bahan bakar fosil, sedangkan cadangan bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam) di dunia ini semakin menipis sehingga dibutuhkan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi yang selama ini dipenuhi oleh bahan bakar fosil tersebut. Selain itu pemakaian bahan bakar fosil juga menghasilkan gas yang dapat mencemari udara.

Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga mempunyai energi matahari yang berlimpah yang seharusnya dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan energi. Dan energi matahari ini sebenarnya dapat menjadi pengganti sebagian bahan bakar fosil yang selama ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Tapi kenyataannya di Indonesia energi matahari tersebut jarang dimanfaatkan. Hal ini menunjukkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sangat tinggi dan kurangnya kemauan untuk mengembangkan potensi sumber daya energi alternatif. Sehingga perlu dilakukan upaya untuk memasyarakatkan pemakaian energi surya.

Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari di beberapa negara di dunia. Beberapa di antara aplikasi tersebut antara lain untuk pencahayaan bertenaga surya, pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, desalinisasi dan desinfektisasi, untuk memasak dengan menggunakan kompor tenaga surya dan lain-lain. Dalam hal ini seharusnya Indonesia yang memiliki energi matahari lebih banyak dapat memanfaatkan energi matahari tersebut dalam kehidupan sehari-hari dan untuk memenuhi sedikit kebutuhan industri agar tidak menghabiskan cadangan bahan bakar fosil yang semakin menipis.

Salah satu pemanfaatan energi matahari selain untuk pembangkit energi listrik adalah untuk pemanas air tenaga surya. Pemanas air tenaga surya yang banyak digunakan saat ini yaitu tipe *flat-plate collector* (FPC) dengan suhu pemanasan yang dihasilkan 30 – 80⁰C. 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.

Dari percobaan sebelumnya membuktikan bahwa penggunaan kolektor tenaga surya terkonsentrasi dapat memperoleh suhu pemanasan yang lebih tinggi dibandingkan pemanas air tipe *flat-plate collector* (Weis dan Rommel, 2008). Efisiensi *cylindrical parabolic collector* dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah bentuk penampang *receiver*. Bentuk penampang *receiver* akan mempengaruhi luas sisi *receiver* yang terkena radiasi sinar matahari secara langsung maupun yang dipantulkan oleh kolektor. Dengan bentuk penampang *receiver* berbeda dan volume yang sama akan didapatkan luas permukaan yang berbeda pada tiap bentuk penampang *receiver*. Dan dengan bentuk penampang *receiver* yang berbeda juga akan mempengaruhi distribusi panas pada air di dalam *receiver* karena jarak permukaan ke titik tengah tiap bentuk penampang *receiver* berbeda pula.

Dalam penelitian akan diamati pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja *cylindrical parabolic collector*. Pemilihan bentuk penampang *receiver* ini diharapkan agar panas yang diterima *receiver* untuk memanasi air tersebut 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 bentuk penampang *receiver* 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. Temperatur lingkungan dianggap konstan.
2. Arah sinar matahari tegak lurus terhadap bidang kolektor.
3. Kinerja dari *cylindrical parabolic collector* yang diamati adalah efisiensi dan jumlah kalor yang diserap air untuk proses pemanasan air dan efisiensi pemanas air tipe *cylindrical parabolic collector*.
4. Material *receiver* adalah baja.

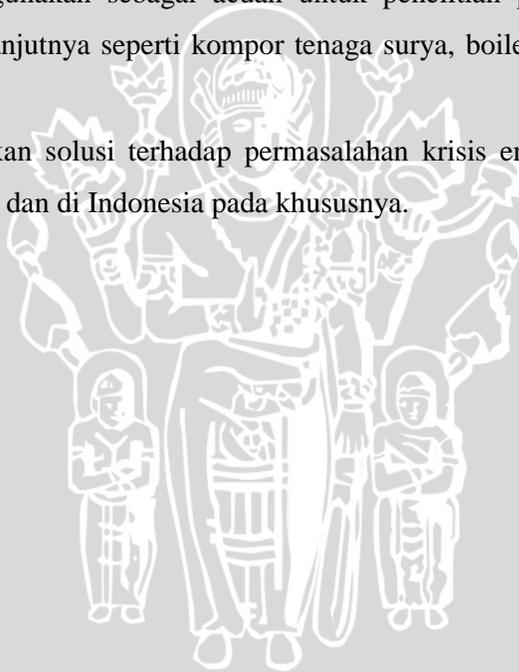
1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja dari pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*.

1.5 Manfaat Penulisan

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

1. Memberikan pengetahuan mengenai keunggulan pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*.
2. Dapat meningkatkan 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 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, *Process Heat Collector* (Weis dan Rommel, 2008:18). Pemanas jenis ini memiliki luas bidang kolektor 180 m^2 dan mampu menghasilkan suhu pemanasan sebesar $100 - 250^\circ\text{C}$. 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, saat matahari bersinar cerah kolektor ini hanya mampu bekerja pada suhu tidak sampai 130°C .

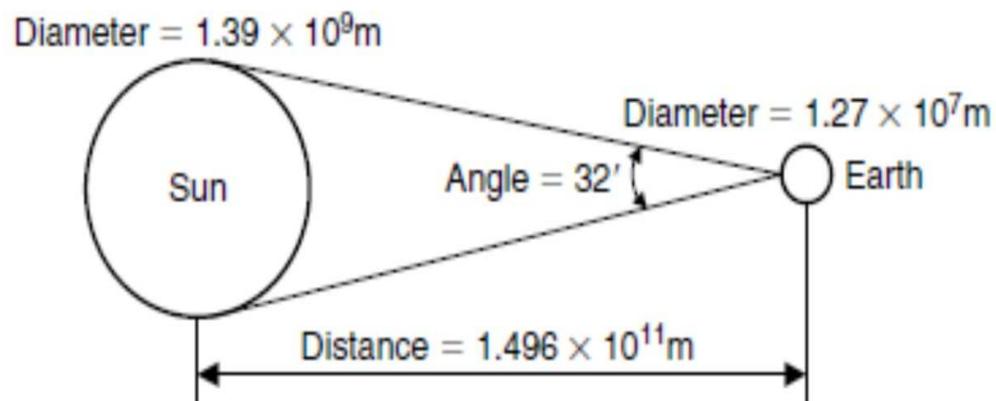
Pada penelitian selanjutnya yaitu dilakukan oleh Sandi Winoto Sareh di Laboratorium Surya Universitas Brawijaya dengan variasi ukuran cermin 1x1, 2x2, 3x3, dan tanpa cermin (aluminium foil). Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa variasi jumlah cermin 3884 unit (1x1 cm) memiliki kinerja paling baik 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 karena 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 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 °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 °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 °C, jumlah kalor pemanasan 27.255,92 J dan efisiensi CPC 9,7 %.

2.2 Matahari

Karena pada pemanas air menggunakan tenaga matahari maka perlu dibahas mengenai matahari. Matahari berbentuk bola yang berpijar dengan senyawa penyusun utama berupa gas hidrogen (74%) dan helium (25%) terionisasi. Senyawa penyusun lainnya terdiri dari besi, nikel, silikon, sulfur, magnesium, karbon, neon, kalsium, dan kromium. Cahaya matahari berasal dari hasil reaksi fusi hidrogen menjadi helium.

Berdasarkan perhitungan menggunakan Hukum Newton dengan melibatkan nilai kecepatan orbit bumi, jarak matahari, dan gaya gravitasi, diperoleh massa matahari sebesar $1,989 \times 10^{30}$ kilogram. Angka tersebut sama dengan 333.000 kali massa Bumi. Sementara itu, diameter matahari adalah 1.392.000 kilometer atau 865.000 mil.



Gambar 2.2 Jarak antara matahari dengan bumi

Sumber: Solar Energy and Thermal Process (Beckman, 1991:7).

Matahari merupakan bintang yang paling dekat dengan Bumi, yaitu berjarak rata-rata 149.600.000 kilometer (92,96 juta mil) seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 diatas. Jarak matahari ke bumi ini dikenal sebagai satuan astronomi dan biasa dibulatkan (untuk penyederhanaan hitungan) menjadi 150 juta km. Suhu permukaan matahari sekitar 6000 K dan suhu di inti matahari berkisar 8×10^6 K sampai 40×10^6 K. Dengan massa jenis (densitas) sekitar 100 kali massa jenis air.

Gaya gravitasi di matahari sebanding dengan 28 kali gravitasi di Bumi. Secara teori hal tersebut berarti bila seseorang memiliki berat 100 kg di Bumi maka bila berjalan di permukaan matahari beratnya akan terasa seperti 2.800 kg. Gravitasi matahari memungkinkannya menarik semua komponen-komponen penyusunnya membentuk suatu bentuk bola sempurna. Gravitasi matahari jugalah yang menahan planet-planet yang mengelilinginya tetap berada pada orbit masing-masing. Pengaruh dari gravitasi matahari masih dapat terasa hingga jarak 2 tahun cahaya.

Radiasi matahari, lebih dikenal sebagai cahaya matahari, adalah campuran gelombang elektromagnetik yang terdiri dari gelombang inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet. Semua gelombang elektromagnetik ini bergerak dengan kecepatan sekitar $3,0 \times 10^8$ m/s. Oleh karena itu radiasi atau cahaya memerlukan waktu 8 menit untuk sampai ke bumi. Matahari juga menghasilkan sinar gamma, namun frekuensinya semakin kecil seiring dengan jaraknya meninggalkan inti.

2.2.1 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 Stevan Boltzman $5,669 \times 10^{-8}$ [W/m².K⁴]

A = Luas bidang area [m²]

T = Temperatur [K]

Beberapa macam jenis radiasi 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/m^2]

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

5. *Irradiation* [J/m^2]

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 [$\text{J/m}^2 \cdot \text{Hari}$]

I = apabila jangka waktu dalam 1 jam [$\text{J/m}^2 \cdot \text{Jam}$]

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 12 bagian waktu pada belahan bumi bagian barat dan 12 bagian waktu pada belahan bumi bagian timur. Daerah meridian waktu berada pada garis bujur 0^0 dan setiap garis bujur bumi bergeser 15^0 maka terjadi perbedaan waktu 1 jam.

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 dan lintang selatan bernilai negatif $-90^{\circ} \leq L \leq 90^{\circ}$

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

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{Beckman, 1980:13}) \quad (2-2)$$

Untuk nilai n dapat diperoleh melalui tabel 2.1.

Tabel 2.1 Keterangan Mengenai Rata-rata Jumlah Hari dalam Bulan dan Nilai dari n Terhadap Bulan.

Month	Day Number (n)	Average day of the month		
		Date	N	δ (deg)
January	I	17	17	-20,92
February	31 + i	16	47	-12,95
March	59 + i	16	75	-2,42
April	90 + i	15	105	9,41
May	120 + i	15	135	18,79
June	151 + i	11	162	23,09
July	181 + i	17	198	21,18
August	212 + i	16	228	13,45
September	243 + i	15	258	2,22
October	273 + i	15	288	-9,60
November	304 + i	14	318	-18,91
December	334 + i	10	344	-23,05

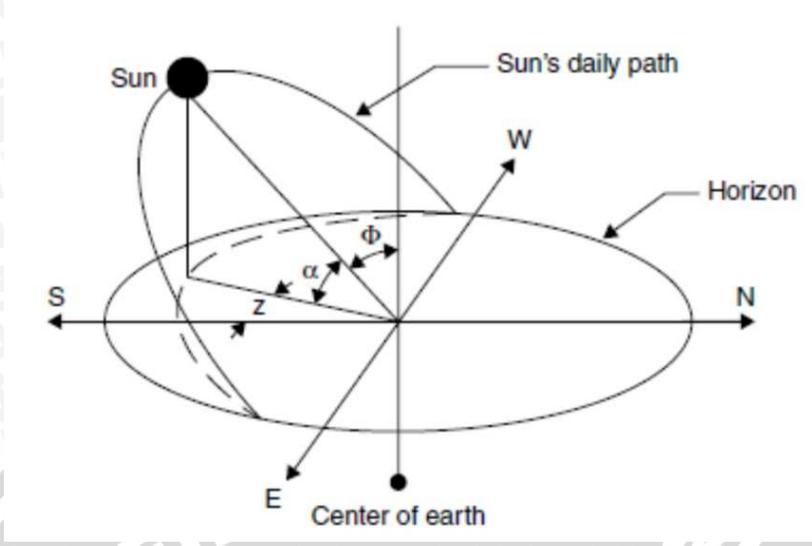
Sumber: (Kalogirou, 2009:56)

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 2.3 Pergerakan harian matahari dari terbit hingga terbenam
 Sumber: *Solar Energy Engineering* (Kalogirou, 2008:58).

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 2.3 menunjukkan bahwa sudut α berhubungan dengan sudut Φ sehingga:

$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^0$$

Dan untuk *solar altitude angle* diperoleh dari persamaan:

$$\sin(\alpha) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad \text{(Kalogirou, 2008:58)(2-3)}$$

Zenith angle (Φ) adalah sudut antara bidang vertical dengan arah datangnya radiasi cahaya matahari. Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa sudut α berhubungan dengan sudut Φ sehingga:

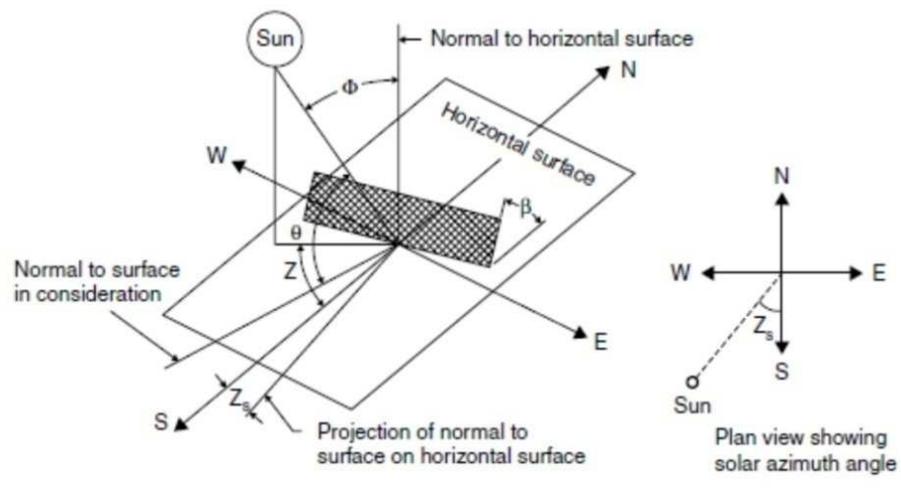
$$\Phi + \alpha = \pi / 2 = 90^0$$

Dan untuk nilai *zenith angle* diperoleh dari persamaan:

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad \text{(Kalogirou, 2008:58)(2-4)}$$

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

$$\sin(z) = \frac{\cos(\delta) \sin(h)}{\cos(\alpha)} \quad \text{(Kalogirou, 2008:58)(2-5)}$$



Gambar 2.4 Konfigurasi sudut datang radiasi pada bidang kolektor
 Sumber: *Solar Energy Engineering* (Kalogirou, 2008:61).

Pada gambar 2.4 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:

$$\cos \theta = \sin(L) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(\phi) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(Z_s) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) + \sin(L) \cos(\delta) \cos(h) \sin(\beta) \cos(Z_s) + \cos(\delta) \sin(h) \sin(\beta) \sin(Z_s)$$

(Kalogirou, 2008:60) (2-6)

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.

2.2.2 Cahaya

Sinar matahari merupakan bagian dari cahaya sehingga sinar matahari memiliki sifat yang sama dengan cahaya. Ilmu fisika yang mempelajari cahaya yang meliputi bagaimana terjadinya cahaya, bagaimana perambatannya, bagaimana pengukurannya, dan bagaimana sifat-sifat cahaya yang dikenal dengan nama optika.

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki kecepatan dan panjang gelombang. Perbedaan interval/jarak panjang gelombang dan frekuensi gelombang yang disusun dalam bentuk tabel panjang gelombang dan frekuensi secara berurutan disebut spektrum gelombang elektromagnetik. Gelombang radio memiliki frekuensi terendah, sedangkan sinar gamma memiliki frekuensi tertinggi. Gelombang elektromagnetik selain memiliki panjang gelombang juga memiliki kecepatan rambat gelombang elektromagnetik, berdasarkan penelitian James Clerk Maxwell (1831 – 1879) kecepatan rambat gelombang elektromagnetik senilai dengan kecepatan rambat cahaya pada ruang hampa.

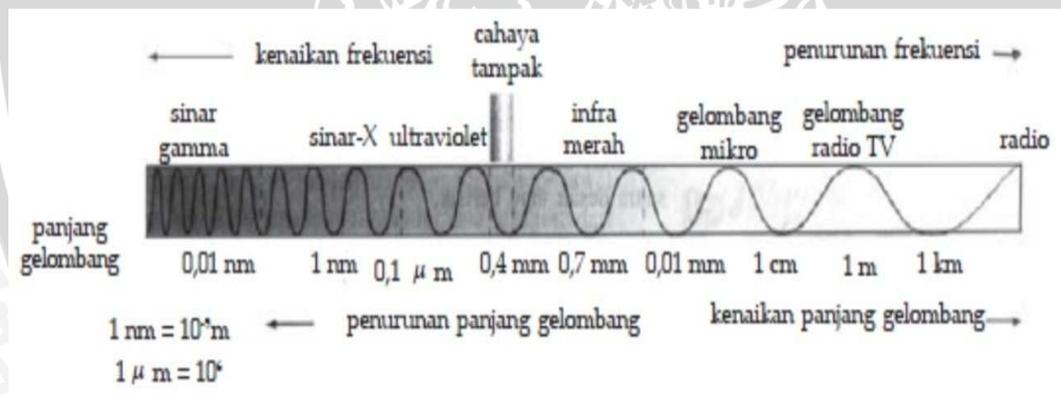
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \times \mu_0}} \quad (\text{Nurrachmandani, 2009:22}) \quad (2-7)$$

Dimana:

ϵ_0 = Permittivitas listrik bernilai $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$

μ_0 = Permeabilitas magnet bernilai $12,60 \times 10^{-6} \text{ Wb/Am}$

c = Kecepatan rambat cahaya bernilai $3 \times 10^8 \text{ m/s}$



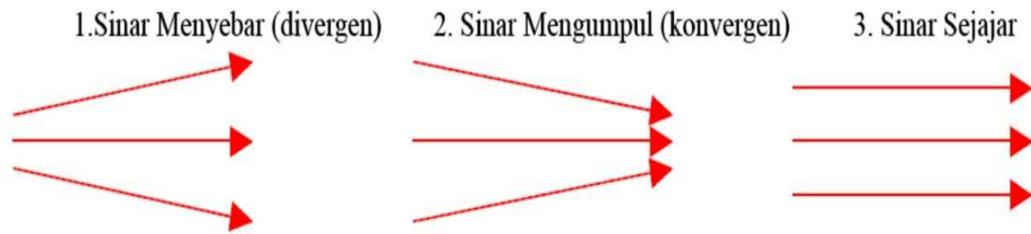
Gambar 2.5 Spektrum gelombang elektromagnetik
 Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:22).

Tabel 2.2 Keterangan mengenai spectrum gelombang elektromagnetik

Panjang Gelombang	Frekuensi dalam Cycle/Det	Jenis Gelombang	Sumber
$10^{-15}m$	10^{23}	Sinar γ	Sinar kosmik
$10^{-14}m$	10^{22}		
$10^{-13}m$	10^{21}		perubahan-perubahan radioaktif
$10^{-12}m$	10^{20}		
$10^{-11}m$	10^{19}	Sinar γ	Tumbukan elektron-elektron pada logam-logam bermassa tinggi
$1A = 10^{-10}m$	10^{18}		
$10^{-9}m$	10^{17}	Sinar ultraviolet	Lampu busur, bunga api listrik, tabung lucutan, lampu, air raksa, dan sinar matahari
$10^{-8}m$	10^{16}		
$10^{-7}m$	10^{15}	Cahaya yang tampak	
$10^{-6}m$	10^{14}	Sinar inframerah	Atom-atom yang bergetar
$10^{-5}m$	10^{13}		
$10^{-4}m$	10^{12}	sinar-sinar panas	Radar gelombang radio dan rangkaian elektronik
$10^{-3}m$	10^{11}		
$10^{-2}m$	10^{10}		Frekuensi sangat tinggi
$10^{-1}m$	10^9		
1 meter = $1m$	10^8		Telvisi
10^1m	10^7		
10^2m	10^6		Radio { Gelombang pendek
10^3m	10^5		
10^4m	10^4		Gelombang panjang
10^5m	10^3		
10^6m	10^2	Gelombang listrik yang sangat panjang	Kumparan yang berputar dalam medan magnet
10^7m	10^1		
10^8m	1		

Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:225).

Dari sini kemudian dikenal kata optic yang berkaitan dengan kacamata sebagai alat bantu penglihatan. Optika dibedakan atas optic geometri dan optic fisik. Pada optic geometri dipelajari sifat-sifat cahaya dengan menggunakan alat yang ukurannya relatif besar dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya. Sedangkan optic fisik cahaya dipelajari dengan menggunakan alat-alat yang ukurannya relatif sama atau lebih kecil dibanding gelombang cahaya sendiri.



Gambar 2.6 Berkas cahaya menyebar, mengumpul dan sejajar.

Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:124).

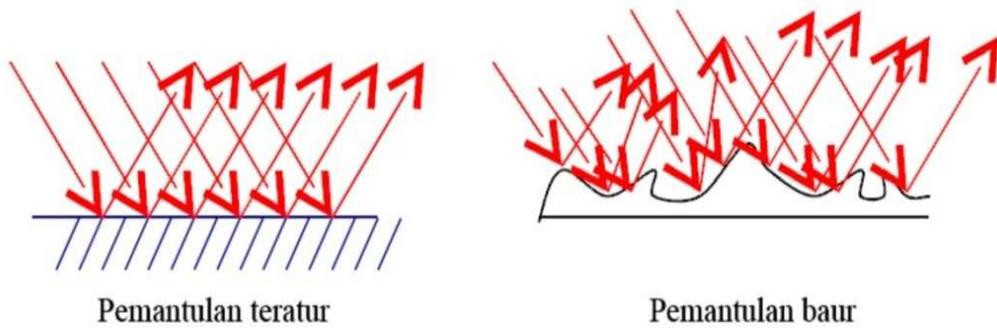
Gambar 2.6 menunjukkan bahwa Cahaya selalu merambat lurus seperti terlihat manakala cahaya matahari menerobos dedaunan. Selain merambat secara lurus dengan berkas cahaya yang sejajar berkas cahaya juga memiliki arah divergen (menyebar) atau konvergen (mengumpul). Sinar matahari memiliki sifat-sifat yang sama dengan cahaya, maka sifat-sifat fisik dari cahaya antara lain:

- 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.

2.2.3 Pemantulan Cahaya

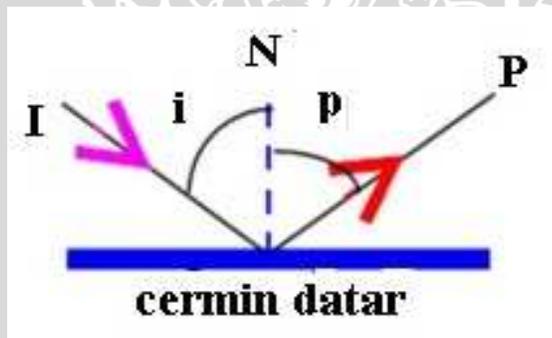
Seseorang dapat melihat benda karena benda tersebut memantulkan cahaya ke mata kita. Secara garis besar pemantulan cahaya terbagi menjadi dua yaitu pemantulan teratur dan pemantulan baur (pemantulan difus). Pemantulan teratur terjadi jika berkas sinar sejajar jatuh pada permukaan halus sehingga berkas 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 2.7 Pemantulan teratur dan pemantulan baur
 Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:125).

Seorang ahli matematika berkebangsaan Belanda yang bernama Willebrod Snellius (1591 – 1626) dalam penelitiannya ia berhasil menemukan hukum pemantulan cahaya yang berbunyi :

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.



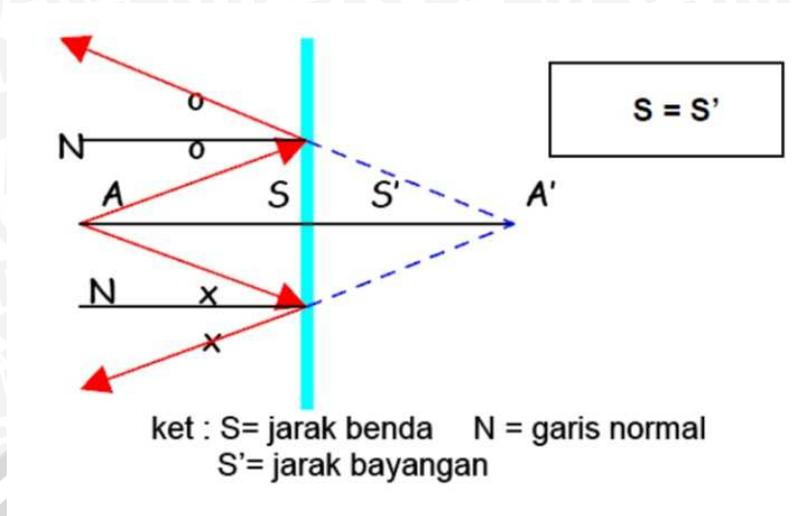
Gambar 2.8 Hukum snellius.
 Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:125).

2.2.3.1 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.

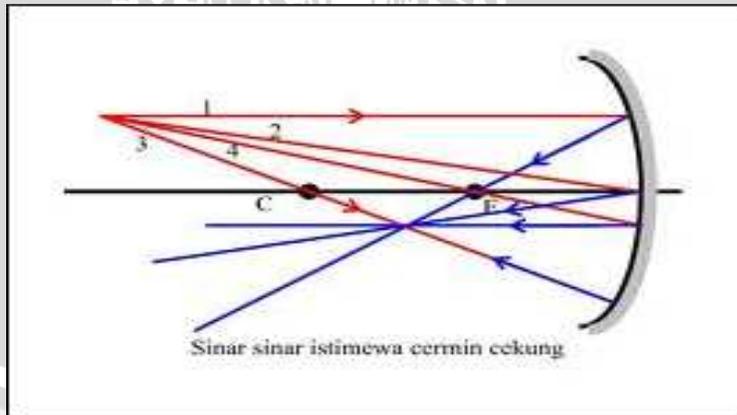


Gambar 2.9 Pembentukan bayangan pada cermin datar
 Sumber: Fisika 1 (Nurrachmandani, 2009:126).

2.2.3.2 Pemantulan Cahaya pada Cermin Cekung

Sistem kolektor tenaga surya menggunakan bidang cekung dengan menggunakan reflektor majemuk pada bidang cekung tersebut sehingga prinsip kerjanya seperti kerja cermin cekung. Cermin cekung bersifat mengumpulkan sinar pantul atau konvergen. Ketika sinar-sinar sejajar dikenakan pada cermin cekung, sinar pantulnya akan berpotongan pada satu titik. Titik perpotongan tersebut dinamakan titik api atau titik fokus (F).

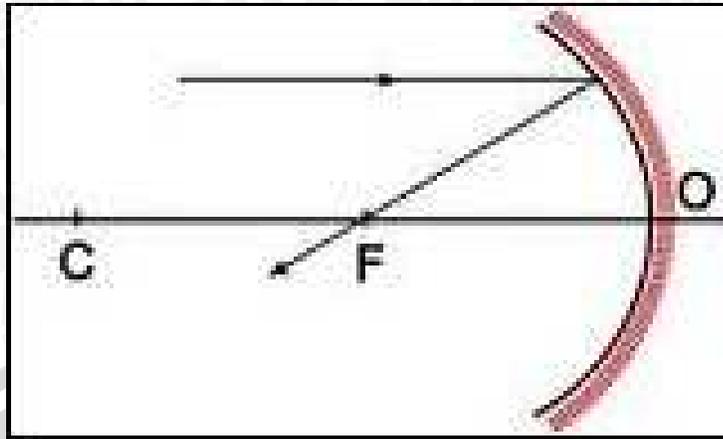
Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung:



Gambar 2.10 Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung

Sumber: Anonymous_a

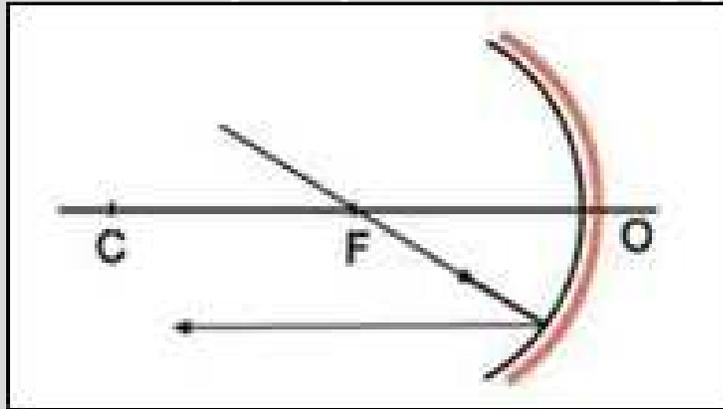
1. Sinar datang sejajar dengan sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus.



Gambar 2.11 Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung

Sumber: Anonymous_a

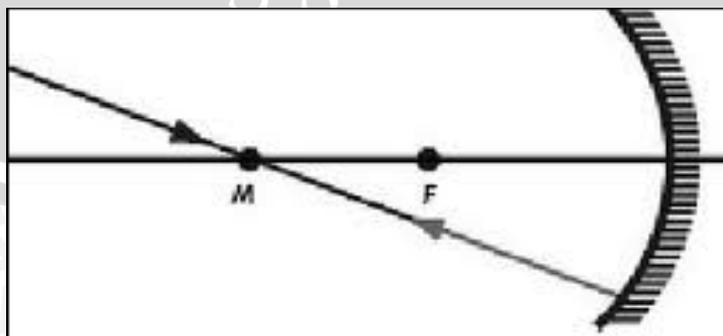
2. Sinar datang melalui titik fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



Gambar 2.12 Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung

Sumber: Anonymous_a

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



Gambar 2.13 Sifat-sifat istimewa pada cermin cekung

Sumber: Anonymous_a

Beberapa hal yang harus diingat tentang cermin cekung adalah:

- Titik focus di depan cermin, maka disebut cermin positif
- Sinar pantul bersifat mengumpul (konvergen)
- sifat bayangan tergantung letak benda terhadap cermin

Persamaan-persamaan yang berlaku pada cermin lengkung (cekung dan cembung):

1. Rumus pembentukan jarak fokus cermin : $f = \frac{1}{2} R$ atau $R = 2 f$
2. Rumus pembentukan bayangan : $\frac{1}{f} = \frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i}$
3. Rumus perbesaran bayangan : $M = -\left(\frac{S_i}{S_o}\right) = \frac{h_i}{h_o}$

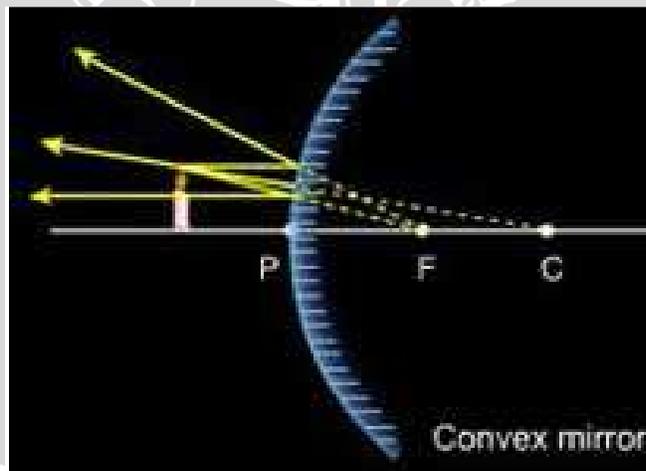
Keterangan:

S_o = jarak benda ; S_i = jarak bayangan ; f = jarak fokus ; h_i = tinggi bayangan ; h_o = tinggi benda ; R = jari-jari kelengkungan cermin ; M = Perbesaran linier bayangan.

2.2.3.3 Pemantulan cahaya pada cermin cembung

Bagian permukaan cermin cembung melengkung ke luar sehingga titik fokus cermin cembung berada di belakang cermin sehingga bersifat maya dan bernilai negatif dan bayangan yang dibentuk dari cermin cembung bersifat maya.

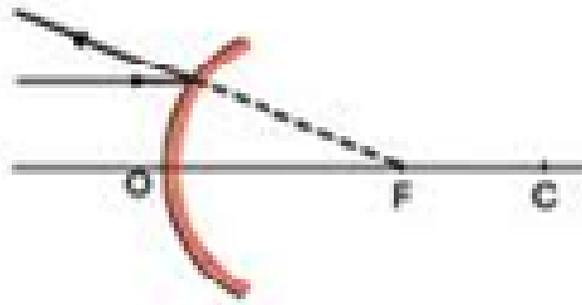
Sifat-sifat sinar istimewa pada cermin cembung:



Gambar 2.14 Sinar istimewa pada cermin cembung

Sumber: Anonymous_b

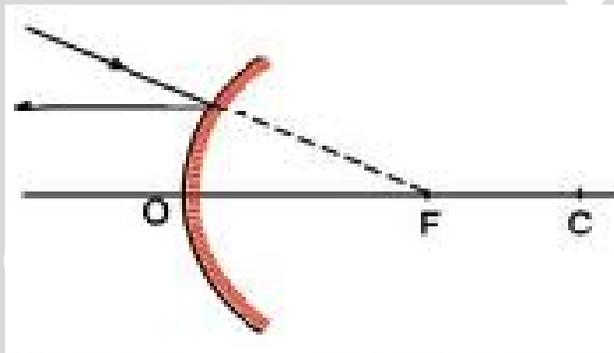
1. Sinar datang sejajar dengan sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah dari titik fokus.



Gambar 2.15 Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung

Sumber: Anonymous_b

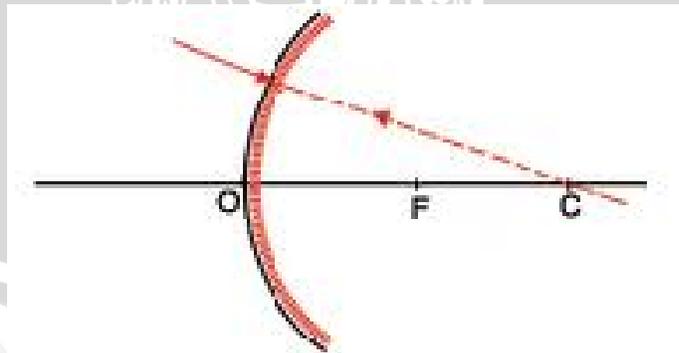
- Sinar datang seolah olah menuju titik fokus akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



Gambar 2.16 Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung

Sumber: Anonymous_b

- Sinar datang menuju titik C (2F) akan dipantulkan seolah-olah dari titik itu juga



Gambar 2.17 Sifat-sifat istimewa pada cermin cembung

Sumber: Anonymous_b

Beberapa hal yang harus diingat tentang cermin cembung adalah:

- Titik focus di belakang cermin, maka disebut cermin negative

- Sinar pantul bersifat menyebar (divergen)
- sifat bayangan : diperkecil, maya, tegak

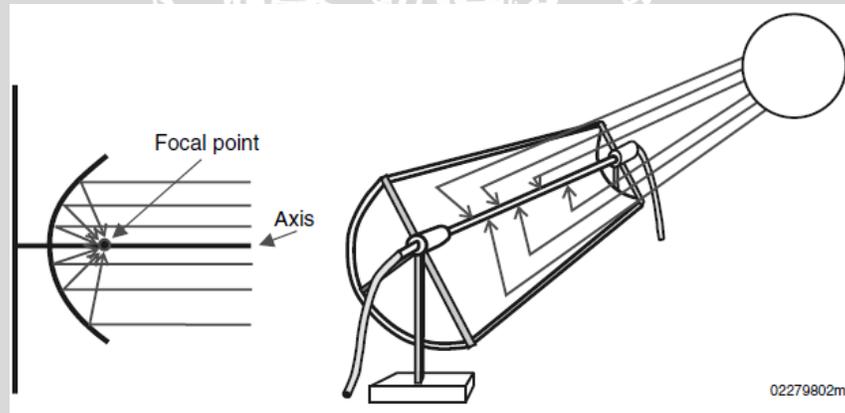
Persamaan-persamaan yang berlaku pada cermin cembung sama dengan persamaan yang berlaku pada cermin cekung.

2.3 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*. *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 2.18 Kolektor Terkonsentrasi

Sumber: *Parabolic-through Solar Water Heating* (Collins & Parker, 2000:7).

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, 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 ke lingkungan sekitar atau dari instalasi kolektor

Untuk mensiasati 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 2.3. 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 2.3 Reflektifitas Cermin

<i>Type</i>	<i>Company</i>	<i>Description</i>	<i>Specular Reflectance</i>	<i>Cost [\$ /m²]</i>
<i>Thick Glass</i>	<i>Flabegh</i>	<i>5mm silver-coated glass. Parabolic (or other non-flat) shapes can be acheived through hot bending at 700°C.</i>	94%	40
<i>Thin Glass</i>	<i>Naugatech</i>	<i>Stability may be an issue at 2-3 mm.</i>	93 – 96 %	15-40
<i>Alumunium Front</i>	<i>Alanod, Almeco, (vegaflex)</i>	<i>Aluminized polished aluminium reflector with nano composite oxide protective layer. Weighs 6.8 kg/m² - less than thick glass. But lower reflectance.</i>	>87 %	<20
<i>Laminate</i>	<i>Raflec Tech</i>	<i>Silverized polymer film on a polymer substrate, laminated to aluminium. Needs a hard coat for required strength.</i>	94 %	20-30

Sumber: Anonymous_c

2. Receiver



Gambar 2.19 Pipa Receiver
Sumber Anonymous_d

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

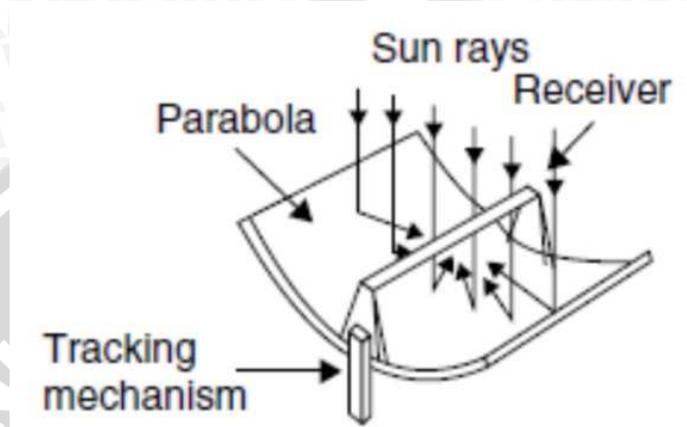
Tabel 2.4 Properti material baja

Properti	Keterangan
Material	Baja
Kalor Spesifik (C_p)	0,48 [kJ/kg. ⁰ K]
Densitas (ρ)	7850 [kg/m ³]
Konduktivitas Thermal (k)	47,6 [W/m. ⁰ K]
Kalor spesifik volumetric	3770 [kJ/m ³ . ⁰ K]
Emisivitas	0.07

Sumber: (Kalogirou, 2009:728)

Untuk pemanfaatan panas matahari secara langsung berakibat tidak akan didapat suhu pemanasan fluida hingga 100⁰C. Sehingga dibutuhkan instalasi pemanasan fluida dengan system kolektor terkonsentrasi. Bidang kolektor terkonsentrasi berbentuk

parabolik, 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 2.20 *Cylindrical parabolic collector* dengan *solar tracking*
Sumber: *Solar Energy Engineering* (Kalogirou, 2008:138).

Pada gambar 2.20 menunjukkan *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 fokus dan *receiver* tersebut ditempatkan pada posisi titik fokus 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 pada suhu tidak sampai 130°C. 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. Jumlah Panas yang dipantulkan kolektor untuk memanaskan *receiver*

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

(Mawarni, 2011:2)(2-8)

Dimana :

Q_{kol} = Jumlah panas yang dipantulkan kolektor untuk memanaskan receiver [W].

A_{Asb} = Luas penampang kolektor yang menerima radiasi [m²].

I_r = Intensitas radiasi [W/m²].

2. Energi yang diterima air

$$Q_{air} = m_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{Mawarni, 2011:3})(2-9)$$

Dimana :

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

$C_{p_{air}}$ = Panas jenis air [J/kg.°C]

m_{air} = Massa air [kg]

T_2 = Temperatur akhir air [°C]

T_1 = Temperatur awal air [°C]

3. Efisiensi kolektor

$$\eta_k = \frac{Q_{air} / \Delta t}{Q_{kol}} \times 100\% \quad (\text{Mawarni, 2011:3})(2-10)$$

Dimana

η_k = Efisiensi kolektor [%]

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

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

Q_{kol} = Jumlah panas yang dipantulkan kolektor untuk memanaskan receiver [W].

2.4 Perpindahan Panas

Panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah. Pada penelitian ini terdapat perpindahan panas yang terjadi pada receiver. Perpindahan panas terdiri dari tiga jenis yaitu perpindahan panas konduksi, perpindahan panas konveksi dan perpindahan panas radiasi.

2.4.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam satu medium (padat, cair atau gas), atau antara medium – medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.

Dinyatakan dengan :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{John Wiley, 2003:164})(2-11)$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas (w)

A = Luas penampang dimana panas mengalir (m²)

dT/dx = Gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x

k = Konduktivitas thermal bahan (w/m⁰C)

2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas).

Dinyatakan dengan :

$$q = hA (\Delta T) \quad (\text{John Wiley, 2003:425})(2-12)$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas konveksi

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (w/m²°C)

A = Luas penampang (m²)

ΔT = Perubahan atau perbedaan suhu (°C)

2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara.

Dinyatakan dengan :

$$q = \delta A(T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{John Wiley, 2003:579})(2-13)$$

Dimana :

δ = Konstanta Stefan-Boltzman 5,669 x10⁻⁸ w/m² k⁴

A = Luas penampang

T = Temperatur

2.5 Hipotesis

Bentuk penampang *receiver* akan mempengaruhi luas sisi *receiver* yang terkena radiasi sinar matahari secara langsung maupun yang dipantulkan oleh kolektor. Dengan bentuk penampang *receiver* berbeda dan volume yang sama akan didapatkan luas permukaan yang berbeda pada tiap bentuk penampang *receiver*. Dan dengan bentuk penampang *receiver* yang berbeda juga akan mempengaruhi distribusi panas pada air di dalam *receiver* karena jarak permukaan ke titik tengah tiap bentuk penampang *receiver* berbeda pula. Semakin besar luas permukaan yang terkena pantulan dari kolektor dan terkena radiasi sinar matahari langsung maka semakin besar panas yang diterima *receiver* dan air di dalam *receiver* sehingga efisiensi yang didapat semakin tinggi pula.



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 bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector*.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Surya Fakultas Teknik Universitas Brawijaya bulan November-selesai tahun 2012.

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:

- Bentuk penampang *receiver* yang digunakan, yaitu:



Gambar 3.1 Bentuk Penampang *Receiver*

1. Lingkaran dengan diameter 2,54 cm.
2. Persegi dengan sisi 2,25 cm.
3. Segitiga dengan sisi 3,42 cm

Luas penampang dan tebal untuk setiap bentuk yang berbeda adalah sama, yaitu luas sebesar $5,06 \text{ cm}^2$ (50600 mm^2) dan tebal sebesar 2 mm.

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 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 :

- Waktu pengambilan data berdasarkan *Solar time*, yaitu: 9.30; 10.00; 10.30; 11.00; 11.30; 12.00; 12.30; 13.30 dan 13.30
- Luas penampang 5,06 cm dan panjang *receiver* yaitu 100 cm.

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Infrared Thermometer*

Infrared Thermometer digunakan untuk mengukur temperatur pada pipa *receiver* seperti yang ditunjukkan ada gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Infrared Thermometer*

Sumber: Anonymous_e

Spesifikasi :

- Menggunakan satu tangan
- Menggunakan sinar laser pada objek
- LCD dengan lampu belakang

- °C/°F temperatur
- Tombol on/off untuk sinar laser
- Power off otomatis
- Rentang pengukuran : -20 ~ 320 °C

2. Termokopel

Untuk mengukur temperatur air yang dipanaskan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Termokopel

Sumber: Anonymous_f

Spesifikasi :

Tipe LM35

3. 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 3.4.



Gambar 3.4 *Pyranometer*

Spesifikasi :

Model : psp

Serial no : 31085F3

Sensitivitas : $9,02 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$

4. Pyrhelimeter

Pyrhelimeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur *beam radiation* dengan satuan keluaran $\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5



Gambar 3.5 *Pyrhelimeter*

Spesifikasi :

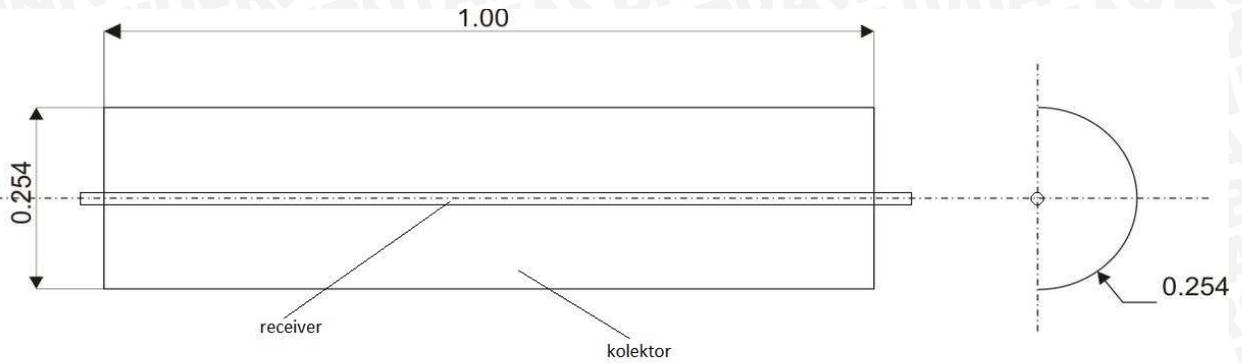
Model : psp

Serial no : 30741E6

Sensitivitas : $8,2 \times 10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$

3.5 Skema Instalasi Penelitian

Untuk skema instalasi penelitian pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* dapat dilihat pada gambar 3.6



satuan: meter

Gambar 3.6 Skema Instalasi Penelitian

Spesifikasi :

- diameter kolektor : 10 inch (25,4 cm)
- ukuran cermin : 1x1 cm
- jumlah cermin : 3884 unit

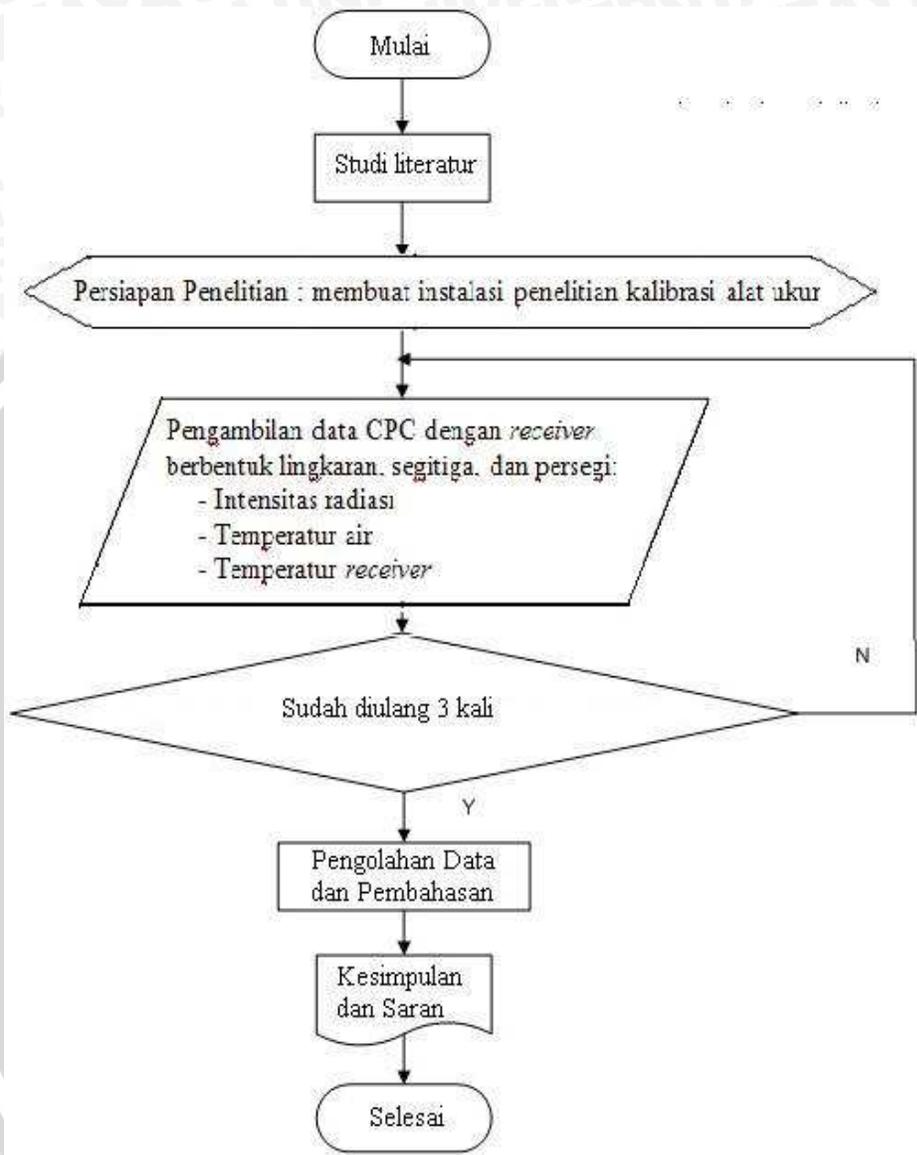
3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang digunakan.
2. Pasang instalasi pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* dengan *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran .
3. Posisikan *cylindrical parabolic collector* tegak lurus dengan arah datangnya radiasi matahari.
4. Setelah itu catat data mengenai intensitas radiasi [W/m^2] yang diukur dengan *pyranometer* dan *pyrheliometer*, temperatur pemanasan air [$^{\circ}C$] yang diukur dengan termokopel dan temperatur pipa *receiver* [$^{\circ}C$] yang diukur dengan *infrared thermometer*.
5. Proses pengambilan data dilakukan sesuai waktu pengujian yaitu 9.30; 10.00; 10.30; 11.00; 11.30; 12.00; 12.30; 13.00; 13.30 dan kondisi kolektor harus tegak lurus dengan arah datangnya radiasi matahari.
6. Ulangi langkah 2-5 untuk pengambilan data *receiver* dengan penampang berbentuk persegi dan segitiga.

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 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan penelitian di laboratorium surya didapatkan data hasil penelitian yang diperlukan untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja *cylindrical parabolic collector* (CPC). Salah satu data hasil penelitian ditunjukkan pada tabel 4.1 sebagai berikut, data ini merupakan data untuk CPC dengan penampang *receiver* berbentuk lingkaran.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian untuk CPC dengan *receiver* berbentuk lingkaran.

No	Menit	T _{air1} [⁰ C]	T _{air2} [⁰ C]	T _{udara} [⁰ C]	I _{Bavo} [mV]	I _{Tavo} [mV]	T _{air} [⁰ C] (rata-rata)
1	0	27	27	28	5.4	6.5	27
2	5	29.5	29.3	28.7	6.2	7.3	29.4
3	10	32.6	32.4	29.1	6.4	7.5	32.5
4	15	36.1	35.9	29.5	6.2	7.4	36
5	20	37.9	37.7	30.1	5.9	7.1	37.8
6	25	39.6	39.6	30.8	6.3	7.4	39.6
7	30	41.2	41.1	30.7	6.7	7.8	41.15
8	35	43.2	43.1	31.3	6.5	7.6	43.15
9	40	45.7	45.5	31.9	6.7	7.9	45.6
10	45	45.8	45.5	30.8	6.7	7.8	45.65
11	50	45.8	45.6	30.7	6.5	7.6	45.7
12	55	45.9	45.6	31.3	6.5	7.6	45.75

Data seperti ditunjukkan pada tabel diatas diambil pada pemanas air tenaga surya tipe *cylindrical parabolic collector* (CPC) dengan variasi bentuk penampang *receiver* lingkaran, segitiga, dan persegi yang memiliki volume yang sama yaitu 506 cm³ atau 0,506 ml. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1.1-1.9 pada halaman lampiran. Perhitungan dimensi (diameter dan sisi) *receiver* yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bentuk lingkaran.

$$V = \pi r^2 \cdot L$$

$$506,4 = 3,14 \cdot r^2 \cdot 100$$

$$r^2 = 506,4/314$$

$$r^2 = \frac{506,4}{314}$$

$$r^2 = 506,4/314$$

$$r = \sqrt{1,6127}$$

$$r = 1,27 \text{ [cm]}$$

2. Bentuk persegi.

$$V = \text{luas persegi} \cdot L$$

$$506,4 = s^2 \cdot 100$$

$$s^2 = 506,4/100$$

$$s = \sqrt{5,064}$$

$$s = 2,25 \text{ [cm]}$$

3. Bentuk segitiga.

$$V = \text{luas segitiga} \cdot L$$

$$506,4 = 0,5s \cdot t \cdot 100$$

$$2,5064 = s \cdot t$$

$$10,128 = s^2 \sin 60$$

$$10,128 = s^2 0,5\sqrt{3}$$

$$s^2 = 20,256/\sqrt{3}$$

$$s = \sqrt{11,70687}$$

$$s = 3,42 \text{ [cm]}$$

4.2 Perhitungan Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan proses pengambilan data maka dapat melakukan perhitungan data dari pembacaan temperature dan intensitas radiasi dengan menggunakan *thermocouple* dan *pyranometer* serta *pyrheliometer* yang dihubungkan ke avometer. Dari pembacaan data tersebut dapat digunakan untuk menghitung intensitas radiasi total, intensitas radiasi langsung, jumlah radiasi matahari yang diterima kolektor, jumlah kalor pemanasan air pada pipa *receiver*, dan efisiensi *cylindrical parabolic collector* (CPC). Contoh perhitungan pada CPC dengan *receiver* berbentuk lingkaran untuk set data no 2 ditunjukkan pada bagian berikut.

1. Intensitas radiasi total dan langsung ($I_{B,avo}$ dan $I_{T,avo}$), didapat dari alat ukur yang terintegrasi dengan voltmeter, hasil pengukurannya mempunyai satuan mili Volt [mV], sehingga untuk memperoleh hasil pengukuran dengan satuan [W/m²] harus dibagi dengan faktor pembagi/factor konversi sesuai

dengan spesifikasi yang tertera pada *pyranometer* dan *pyrheliometer* yaitu sebesar $9,02 \times 10^{-6} \text{ (V/W.m}^{-2}\text{)}$ dan $8,2 \times 10^{-6} \text{ (V/W.m}^{-2}\text{)}$.

Besarnya intensitas radiasi total ($I_{T,avo}$) adalah :

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

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

$$I_T = 809,31 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Besarnya intensitas radiasi langsung ($I_{B,avo}$) adalah :

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

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

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

2. Daya radiasi yang diterima CPC sama dengan daya radiasi yang diterima kolektor. Untuk menghitung daya radiasi yang diterima kolektor (q_{kol}) menggunakan persamaan (2-17).

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

$$q_{kol} = 0,2554 \text{ [m}^2\text{]} 756,09 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$q_{kol} = 193,11 \text{ [W]}$$

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

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

$$Q_{air} = 0,5064 \text{ [kg]} \cdot 4180 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right] \cdot (29,1 - 27) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q_{air} = 5086,224 \text{ [J]}$$

4. Daya pemanasan air, diperoleh dari kalor pemanasan air (Q_{air}) dibagi dengan waktu pemanasan (ΔT).

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

$$q_{air} = 5086,224 \text{ [J]} / 300 \text{ [s]}$$

$$q_{air} = 16,954[W]$$

5. Untuk menghitung efisiensi *cylindrical parabolic collector* (η_{CPC})

menggunakan persamaan (2-21).

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

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

$$\eta_{CPC} = \frac{16,954[W]}{193,11[W]} \times 100\%$$

$$\eta_{CPC} = 8,779 \%$$

Untuk data yang lainnya, dilakukan perhitungan yang sama seperti ditunjukkan pada contoh perhitungan diatas. Hasil perhitungan untuk data pada lampiran 1.1 dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data perhitungan untuk CPC dengan *receiver* berbentuk lingkaran.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [W]	q_{kol} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	168.1902439	0
2	5	5298.15	17.6605	193.1073171	9.1454328
3	10	6569.706	21.89902	199.3365854	10.985951
4	15	7417.41	24.7247	193.1073171	12.803606
5	20	3814.668	12.71556	183.7634146	6.9195275
6	25	3602.742	12.00914	196.2219512	6.1201817
7	30	3178.89	10.5963	208.6804878	5.0777627
8	35	4450.446	14.83482	202.4512195	7.3276022
9	40	5298.15	17.6605	208.6804878	8.4629379
10	45	211.926	0.70642	208.6804878	0.3385175
11	50	-211.926	-0.70642	202.4512195	-0.3489334
12	55	0	0	202.4512195	0

Hasil perhitungan untuk data pada lampiran 1.1-1.9 selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2.1-2.9. Perhitungan rata-rata untuk CPC dengan receiver dengan penampang berbentuk lingkaran ditunjukkan tabel 4.3. perhitungan rata-rata untuk CPC selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2.10-2.12.

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan rata-rata untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran.

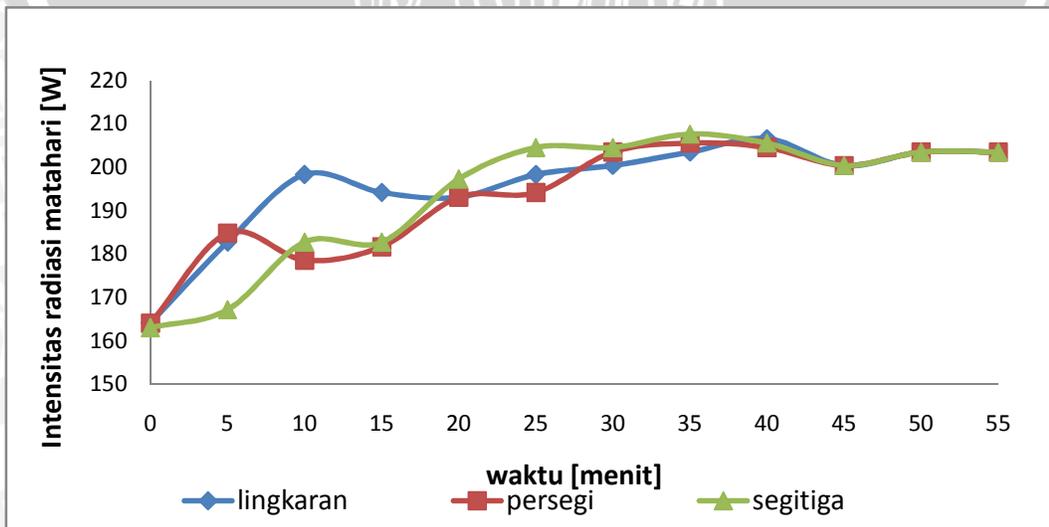
No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [W]	q_{kol} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	164.037	0
2	5	4980.261	16.6009	182.725	9.118
3	10	12079.782	20.133	198.298	10.1506
4	15	18472.883	20.5254	194.146	10.5855
5	20	23311.86	19.4266	193.107	10.0703
6	25	27938.911	18.6259	198.298	9.39665
7	30	31612.295	17.5624	200.375	8.78094
8	35	35109.074	16.7186	203.489	8.21504
9	40	38429.248	16.0122	206.604	7.74923
10	45	39170.989	14.5078	200.375	7.24527
11	50	39276.952	13.0923	203.489	6.43386
12	55	39453.557	11.9556	203.489	5.87531

4.3 Grafik dan Pembahasan

Setelah melakukan perhitungan data dan didapatkan hasilnya perlu dilakukan perbandingan dengan membuat grafik untuk masing-masing variasi dan pembahasan antara variasi bentuk penampang receiver lingkaran, segitiga dan persegi.

4.3.1. Grafik Jumlah Intensitas Radiasi yang Masuk ke Kolektor

Jumlah dari radiasi langsung yang diukur dengan pyrhelimeter menghasilkan jumlah daya yang masuk ke kolektor. Besarnya daya radiasi langsung yang diterima oleh CPC masing-masing variasi ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1. Jumlah intensitas daya radiasi yang masuk ke kolektor

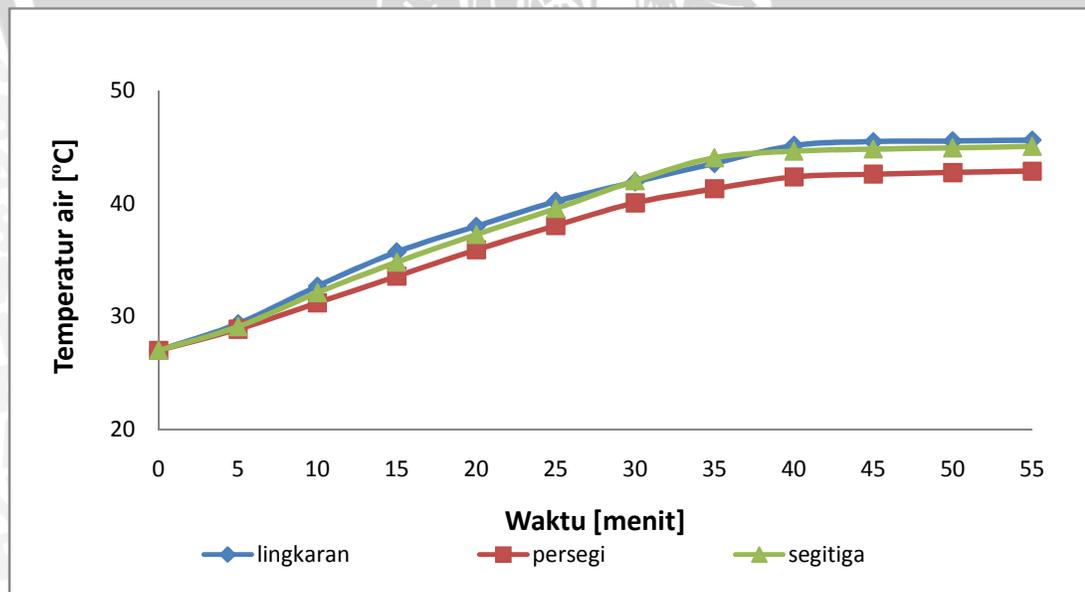
Pada Gambar 4.1 menunjukkan data rata-rata radiasi yang masuk ke kolektor dengan *receiver* yang memiliki bentuk penampang lingkaran, segitiga, dan persegi. Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa besar energi radiasi yang masuk ke kolektor agak fluktuatif. Hal ini diakibatkan oleh pengaruh pergerakan awan, jumlah uap air di udara, kelembaban udara, serta kondisi angin di udara sehingga mempengaruhi kualitas intensitas radiasi langsung yang masuk ke kolektor. Untuk menghitung jumlah daya yang masuk ke kolektor ditunjukkan pada persamaan (2.18)

Untuk CPC yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran jumlah intensitas daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 164.037-203.489 W. Untuk kolektor yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk segitiga jumlah intensitas daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 162.999-203.489 W. Untuk kolektor yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk persegi jumlah intensitas daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 164.037-203.489 W.

4.3.2 Pengaruh Bentuk Penampang Receiver Terhadap Jumlah Kalor Pemanasan

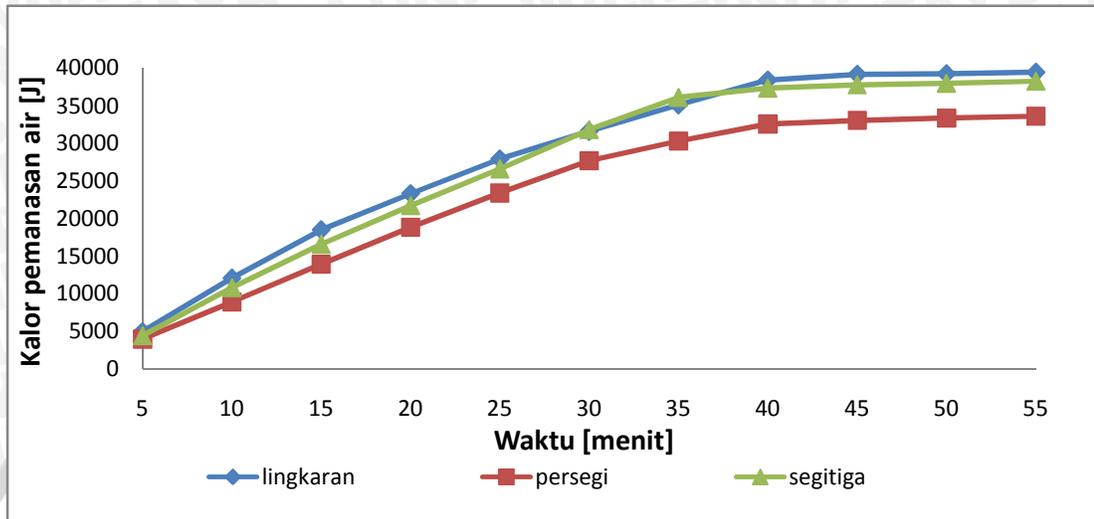
Air.

Untuk perhitungan kalor pemanasan air diperlukan data massa air, panas jenis air, dan kenaikan temperatur air. Grafik kenaikan temperatur air ditunjukkan oleh gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik rata-rata kenaikan temperatur air pada masing-masing variasi penampang bentuk *receiver*.

Dengan diketahuinya massa air, panas jenis air dan kenaikan temperatur air dapat dihitung jumlah kalor untuk pemanasan air. Besar kalor pemanasan air ditunjukkan oleh gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4.3 Grafik pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap jumlah kalor pemanasan air.

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh bentuk penampang *receiver* pada CPC terhadap jumlah rata-rata kalor pemanasan air. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.20), kenaikan jumlah kalor mengakibatkan kenaikan suhu pemanasan air. Maka jumlah kalor pemanasan meningkat dengan meningkatnya temperatur air.

Dari keseluruhan variasi bentuk penampang *receiver* terhadap kenaikan jumlah kalor pemanasan air didapatkan hasil bahwa *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran mampu memanaskan air sampai $45,7^{\circ}\text{C}$ merupakan suhu pemanasan tertinggi, dengan jumlah kalor pemanasan sebesar $39.524,199\text{ J}$ selama 55 menit. Kemudian bentuk penampang *receiver* segitiga mempunyai suhu pemanasan $45,4^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar $38.494,456\text{ J}$. Sedangkan bentuk penampang *receiver* persegi menghasilkan suhu pemanasan $43,1^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar $34.226,049\text{ J}$.

Pada penelitian ini, kolektor yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran mampu memanaskan air dengan suhu tertinggi. Karena luas permukaan *receiver* yang terkena pantulan sinar matahari langsung paling banyak dan bentuknya menyerupai kolektor yang berbentuk setengah silinder. Jika arah cahaya matahari yang datang tegak lurus dengan bidang kolektor, maka proses pemantulan panas matahari menuju pipa *receiver* dapat lebih terfokus. Akibatnya, suhu pada air

akan meningkat. Hal ini menunjukkan peningkatan jumlah kalor pemanasan air. Dibandingkan dengan bentuk penampang *receiver* yang berbentuk segitiga dan persegi, proses pemantulan cahaya menuju ke pipa *receiver* kurang maksimal karena bentuknya tidak mirip bidang kolektor dan luas permukaan yang terkena pantulan sinar matahari langsung lebih sedikit. Sehingga suhu pemanasan air yang dihasilkan pun menjadi lebih rendah. Hal tersebut menunjukkan air lebih rendah.

Namun pada *receiver* dengan penampang berbentuk segitiga panas yang dicapai hampir menyamai *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran. Alasannya, bentuknya tidak mirip dengan bidang kolektor, namun luas permukaan *receiver* yang terkena pantulan sinar matahari lebih banyak daripada *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran. Luas permukaan yang terkena pantulan sinar matahari total (baur dan langsung) lebih banyak walaupun pantulan sinar matahari langsung yang diterima lebih sedikit dari *receiver* dengan bentuk penampang lingkaran. Sehingga suhu pemanasan yang dicapai $45,4^{\circ}\text{C}$ dan mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 38.494,456 J, masih lebih rendah dari *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran dengan suhu pemanasan $45,7^{\circ}\text{C}$ mampu menghasilkan jumlah kalor pemanasan sebesar 39.524,199 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*. Selanjutnya panas dari pipa *receiver* berpindah secara konduksi ke air akibatnya suhu air dalam *receiver* akan meningkat.

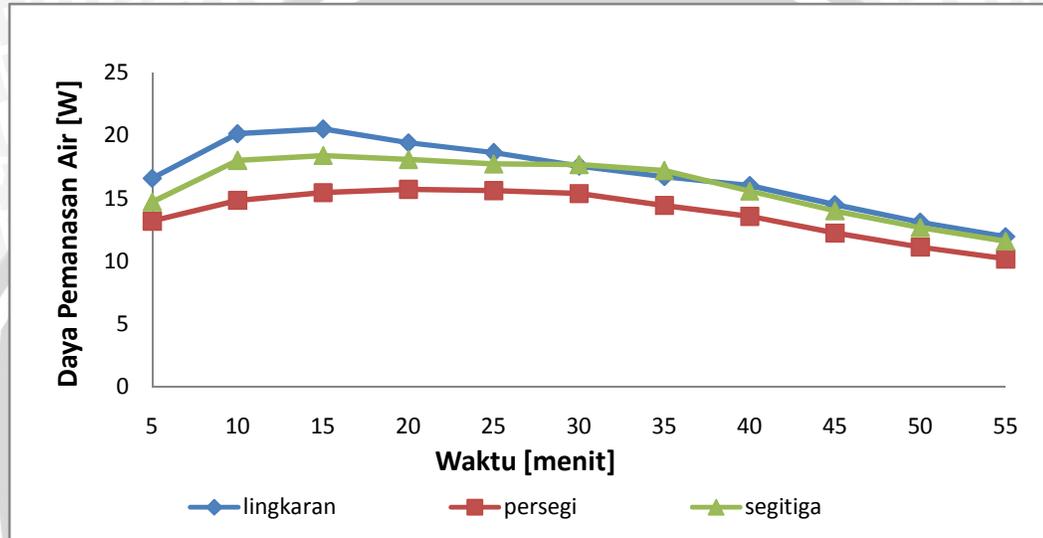
4.3.3. Pengaruh Bentuk Penampang Receiver Terhadap Efisiensi

Untuk menghitung efisiensi dari *cylindrical parabolic collector* (CPC) dibutuhkan input dari CPC yaitu radiasi yang masuk ke kolektor. Pada kolektor yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran, segitiga, dan persegi pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa besar energi radiasi yang masuk ke kolektor agak fluktuatif. 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 masuk ke kolektor.

Untuk *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran jumlah daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 164.037-203.489 W. Untuk *receiver* dengan penampang

berbentuk segitiga jumlah daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 162.999-203.489 W. Untuk *receiver* dengan penampang berbentuk persegi jumlah daya radiasi yang masuk ke kolektor sebesar 164.037-203.489 W.

Setelah diketahui input dari *cylindrical parabolic collector* (CPC) yaitu radiasi matahari yang masuk ke kolektor, untuk menghitung efisiensi CPC tersebut dibutuhkan output dari CPC yaitu daya pemanasan air. Grafik pada gambar 4.4 menunjukkan jumlah rata-rata daya pemanasan air.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap daya pemanasan air [W].

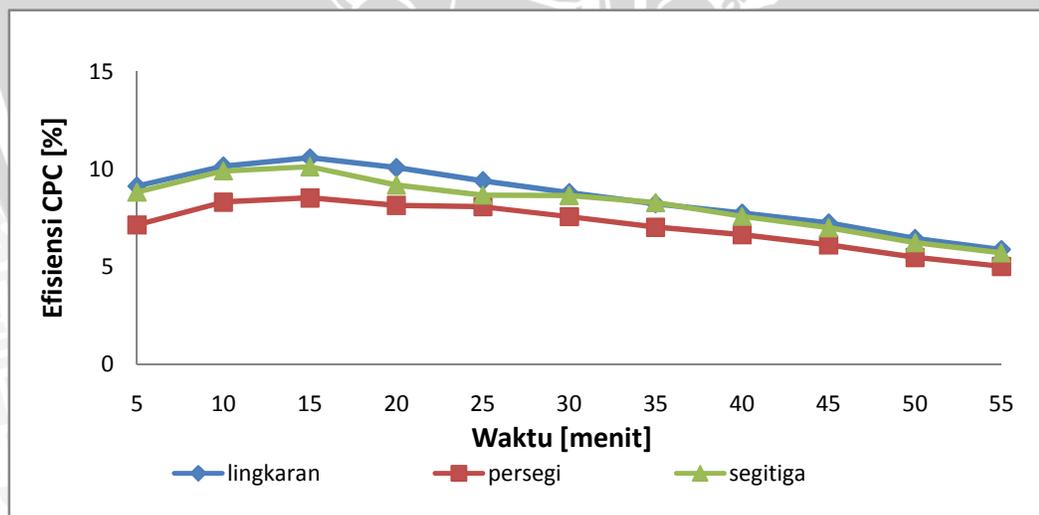
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara daya pemanasan air terhadap waktu pada CPC dengan variasi bentuk penampang *receiver*. Untuk menghitung daya pemanasan air dapat menggunakan persamaan (2-21). Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran memiliki daya pemanasan air paling tinggi. Kemudian *receiver* dengan penampang berbentuk segitiga diurutan kedua. Dan, yang terakhir *receiver* dengan penampang berbentuk persegi.

Walaupun intensitas radiasi matahari yang tersedia pada saat pengambilan data untuk *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran hampir sama dengan intensitas radiasi matahari yang tersedia pada saat pengambilan data untuk *receiver* dengan penampang berbentuk segitiga atau persegi. Namun untuk *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran memiliki nilai daya pemanasan air paling tinggi karena mampu menghasilkan temperatur pemanasan air yang lebih tinggi, temperatur yang lebih tinggi mampu dicapai karena bentuk yang mirip dengan bidang kolektor dan luas permukaan

yang terkena pantulan sinar matahari lebih banyak. Dengan permukaan yang mirip dengan bidang kolektor, maka proses pemantulan panas matahari menuju permukaan *receiver* dapat lebih maksimal. Sehingga, suhu pemanasan yang mampu dicapai pada air akan menjadi lebih tinggi. Karena pemanasan air yang mampu dicapai menjadi lebih tinggi maka jumlah kalor pemanasan pun meningkat pula dan akibatnya jumlah daya pemanasan air pun meningkat pula.

Gambar 4.4 menunjukkan daya pemanasan CPC dengan *receiver* yang memiliki penampang berbentuk lingkaran yang naik sampai menit ke 15 lalu menurun hingga menit 55 hal ini dikarenakan laju kenaikan suhu mula-mula meningkat hingga menit ke 15 kemudian menurun dengan semakin bertambahnya waktu. Menurunnya laju kenaikan suhu ini dikarenakan temperatur semakin tinggi, sehingga pada temperatur antara air dan dinding *receiver* menjadi lebih kecil. Akibatnya perpindahan kalor konduksi dari dinding *receiver* ke air berkurang, kenaikan temperatur juga menurun dan daya pemanasan CPC secara keseluruhan juga berkurang. Besarnya daya pemanasan CPC diperoleh dari perkalian antara massa air, panas jenis air dan kenaikan temperatur air dibagi dengan waktu.

Setelah diketahui input dan output dari CPC yaitu radiasi yang masuk kolektor dan daya pemanasan air maka dapat dihitung efisiensi dari CPC. Grafik efisiensi rata-rata CPC untuk masing-masing variasi ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Grafik pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap nilai efisiensi *cylindrical parabolic collector* (CPC)

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap efisiensi *cylindrical parabolic collector* (CPC). Untuk setiap jenis CPC dengan variasi bentuk penampang *receiver* diperoleh nilai efisiensinya sebagai fungsi dari

waktu. Untuk setiap CPC dengan bentuk penampang *receiver* yang berbeda, efisiensinya mula-mula naik kemudian berkurang. Bila nilai efisiensi pada setiap CPC dirata-rata maka efisiensi CPC yang paling baik adalah CPC dengan bentuk penampang *receiver* lingkaran sebesar 8,02%, kemudian bentuk penampang *receiver* segitiga 7,11%, kemudian bentuk penampang *receiver* persegi 6,42%. Untuk mencari efisiensi *cylindrical parabolic collector* (η_{CPC}) dapat digunakan dengan menggunakan persamaan (2-22).

Besarnya efisiensi CPC dengan *receiver* yang memiliki bentuk penampang lingkaran dapat dijelaskan sebagai berikut. Dengan meningkatnya suhu pemanasan berakibat meningkatnya nilai kalor pemanasan dan dengan meningkatnya nilai kalor pemanasan berakibat meningkatnya daya pemanasan air. Pada CPC yang memiliki *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran mampu memanaskan dengan suhu tertinggi dikarenakan luas permukaan *receiver* yang terkena pantulan sinar matahari langsung semakin banyak dan bentuk yang menyerupai bidang kolektor membantu proses pemanasan akibatnya suhu pemanasan pada air meningkat. Dibandingkan dengan CPC yang memiliki *receiver* dengan penampang segitiga dan persegi proses pemantulan cahaya menuju ke *receiver* menjadi kurang maksimal karena bentuk yang berbeda dengan bidang kolektor 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 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi *cylindrical parabolic collector* dipengaruhi laju kenaikan suhu pemanasan air, dan waktu pemanasan air dengan massa air yang dipanaskan tetap. Kemudian dibagi dengan jumlah radiasi yang diterima kolektor.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh bentuk penampang *receiver* terhadap kinerja pemanas air tipe *cylindrical parabolic collector* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Temperatur air maksimal dicapai pada CPC dengan *receiver* dengan penampang berbentuk lingkaran, sebesar 45,6°C. berikutnya temperatur air maksimal pada CPC dengan *receiver* berpenampang segitiga dan persegi adalah 45,1°C dan 42,8°C.
2. Kalor pemanasan air maksimal pada CPC dengan penampang berbentuk lingkaran, persegi dan segitiga berturut-turut adalah sebesar 39.524,199 J, 38.494,456 J dan 34.226,049 J.
3. CPC dengan *receiver* berpenampang lingkaran mempunyai efisiensi tertinggi, yaitu 8,02%, selanjutnya efisiensi CPC dengan penampang berbentuk segitiga dan persegi adalah 7,11% dan 6,42%.

5.2 Saran

Agar penelitian mengenai kinerja *cylindrical parabolic collector* dimasa yang akan datang dapat lebih baik lagi, penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Pipa *receiver* lebih baik menggunakan diameter pipa yang lebih kecil.
2. Pipa *receiver* lebih baik menggunakan bahan dengan nilai konduktivitas thermal yang lebih tinggi dari baja, contohnya tembaga dan aluminium.
3. Untuk pipa *receiver* sebaiknya dilindungi dengan selubung kaca (*glass cover*) yang memiliki transmitasi 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous a. 2009. *Cermin Cekung*. <http://www.fisika-ceria.com/cermin-cekung-cermin-konkaf.html>. (diakses pada 26 Januari 2012)
- Anonymous b. 2009. *Cermin Cembung*. <http://www.fisika-ceria.com/cermin-cembung.html>. (diakses pada 26 Januari 2012)
- Anonymous c. 2010. *Solar Glass and Mirros*. http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php. (diakses pada 26 Januari 2012)
- Anonymous d. 2011. <http://www.waoline.com/science/newenergy/Photovolt/Solar-thermal.html>. (diakses pada 2 Februari 2012)
- Anonymous e. 2009. *Infrared Thermometer*. <http://www.amazon.com/exec/obidos/ASIN/B002OD0NCG/asianidol-20>. (diakses pada 2 Februari 2012)
- Anonymous f. 2011. *Thermocouple Type K*. <http://www.aliexpress.com/product-fm/377772339-Free-Shipping-10pcs-lot-thread-thermocouple-K-type-RTD-Sensor-M6-wholesalers.html>. (diakses pada 2 Februari 2012)
- Cengel, Y.A. & Boles, M.A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th Edition*. New York: McGraw-Hill
- 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.
- 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 Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

Lampiran 1.1 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 1

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28	5,4	6,5	27
2	5	29,5	29,3	28,7	6,2	7,3	29,4
3	10	32,6	32,4	29,1	6,4	7,5	32,5
4	15	36,1	35,9	29,5	6,2	7,4	36
5	20	37,9	37,7	30,1	5,9	7,1	37,8
6	25	39,6	39,6	30,8	6,3	7,4	39,6
7	30	41,2	41,1	30,7	6,7	7,8	41,15
8	35	43,2	43,1	31,3	6,5	7,6	43,15
9	40	45,7	45,5	31,9	6,7	7,9	45,6
10	45	45,8	45,5	30,8	6,7	7,8	45,65
11	50	45,8	45,6	30,7	6,5	7,6	45,7
12	55	45,9	45,6	31,3	6,5	7,6	45,75

Lampiran 1.2 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 2

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28,1	5,2	6,4	27
2	5	29,2	29,1	28,9	5,9	7,1	29,15
3	10	32,6	32,4	29,2	6,1	7,3	32,5
4	15	35,2	35,1	29,4	6,4	7,5	35,15
5	20	37,7	37,5	30,4	6,4	7,5	37,6
6	25	40,1	39,8	30,7	6,5	7,6	39,95
7	30	42,1	41,9	30,7	6,2	7,4	42
8	35	43,5	43,4	31,5	6,5	7,7	43,45
9	40	44,6	44,5	30,7	6,5	7,6	44,55
10	45	45,2	45,1	30,7	6,2	7,4	45,15
11	50	45,2	45,1	30,7	6,5	7,7	45,15
12	55	45,4	45,2	31,5	6,5	7,7	45,3

Lampiran 1.3 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 3

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28,4	5,2	6,1	27
2	5	29,5	29,5	28,9	5,5	6,7	29,5
3	10	33,1	33,1	29,6	6,6	7,7	33,1
4	15	36,1	35,9	29,5	6,1	7,2	36
5	20	38,7	38,5	30,2	6,3	7,4	38,6
6	25	41,1	40,9	30,4	6,3	7,5	41
7	30	42,7	42,5	30,9	6,4	7,5	42,6
8	35	44,2	44	30,6	6,6	8,1	44,1
9	40	45,4	45,1	31,4	6,7	7,8	45,25
10	45	45,8	45,5	30,4	6,4	7,5	45,65
11	50	45,9	45,6	30,9	6,6	8,1	45,75
12	55	45,9	45,7	30,6	6,6	8,1	45,8

Lampiran 1.4 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 1

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28	5,2	6,4	27
2	5	29,1	29	28,7	5,5	6,7	29,05
3	10	31,7	31,6	29,1	6,2	7,4	31,65
4	15	34,4	34,3	29,2	6,2	7,3	34,35
5	20	37,1	36,9	30,2	6,4	7,5	37
6	25	39,7	39,5	30,8	6,5	7,6	39,6
7	30	42,1	41,9	30,7	6,5	7,9	42
8	35	44,2	44	30,9	6,7	7,8	44,1
9	40	44,9	44,8	31,2	6,7	7,8	44,85
10	45	45,1	44,9	30,8	6,7	7,8	45
11	50	45,2	45	30,7	6,5	7,6	45,1
12	55	45,4	45,2	31,3	6,5	7,6	45,3

Lampiran 1.5 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 2

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	27,7	5,3	6,4	27
2	5	29,1	28,9	27,9	5,4	6,6	29
3	10	32,2	32,1	28,4	5,9	7,1	32,15
4	15	35,1	34,8	29,1	5,9	6,7	34,95
5	20	37,5	37,4	29,9	6,5	7,6	37,45
6	25	39,7	39,5	30,7	6,5	7,7	39,6
7	30	42,2	41,9	30,5	6,5	7,6	42,05
8	35	44,1	43,9	31,6	6,6	7,7	44
9	40	44,7	44,5	31,9	6,7	7,9	44,6
10	45	44,9	44,8	30,7	6,2	7,4	44,85
11	50	45,1	44,9	30,7	6,5	7,7	45
12	55	45,1	45,1	31,5	6,5	7,7	45,1

Lampiran 1.6 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 3

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28,2	5,2	6,4	27
2	5	29,2	29,2	28,9	5,2	6,4	29,2
3	10	32,6	32,4	29,6	5,5	6,6	32,5
4	15	35,2	35,1	29,7	5,5	6,6	35,15
5	20	37,4	37,2	30,1	6,1	7,2	37,3
6	25	39,5	39,4	30,4	6,7	8,1	39,45
7	30	42,1	41,9	30,9	6,7	7,8	42
8	35	44,1	44	31,7	6,7	7,9	44,05
9	40	44,5	44,4	31,8	6,4	7,7	44,45
10	45	44,7	44,6	30,4	6,4	7,5	44,65
11	50	44,8	44,6	30,9	6,6	8,1	44,7
12	55	44,9	44,7	30,6	6,6	8,1	44,8

Lampiran 1.7 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi 1

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28	5,3	6,4	27
2	5	28,9	28,8	28,7	5,9	7,1	28,85
3	10	31,2	31,1	29,3	5,9	7,1	31,15
4	15	33,7	33,7	29,5	6,1	7,2	33,7
5	20	36,2	36,1	30,1	6,4	7,2	36,15
6	25	38,2	38,1	30,7	5,9	7,1	38,15
7	30	40,1	39,9	30,8	6,5	7,6	40
8	35	41,5	41,4	30,9	6,6	8,1	41,45
9	40	42,4	42,3	31,9	6,7	7,8	42,35
10	45	42,9	42,7	30,8	6,7	7,8	42,8
11	50	43,1	42,9	30,7	6,5	7,6	43
12	55	43,1	43	31,3	6,5	7,6	43,05

Lampiran 1.8 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi 2

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	27,9	5,4	6,5	27
2	5	29,1	28,9	28,6	6,2	7,3	29
3	10	31,5	31,4	29,2	5,8	6,9	31,45
4	15	33,6	33,5	29,4	5,9	7,1	33,55
5	20	35,7	35,7	30,2	6,1	7,3	35,7
6	25	38,1	37,9	30,5	6,1	7,1	38
7	30	40,1	40	30,7	6,5	7,7	40,05
8	35	41,2	41,1	31,5	6,5	7,9	41,15
9	40	42,4	42,2	31,7	6,6	7,7	42,3
10	45	42,5	42,4	30,7	6,2	7,4	42,45
11	50	42,7	42,6	30,7	6,5	7,7	42,65
12	55	42,9	42,7	31,5	6,5	7,7	42,8

Lampiran 1.9 Data hasil penelitian untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi 3

No	Menit	T _{air1} [°C]	T _{air2} [°C]	T _{udara} [°C]	I _T [mV]	I _B [mV]	T _{air} [°C] (rata-rata)
1	0	27	27	28,4	5,2	6,6	27
2	5	28,8	28,7	28,9	5,7	6,9	28,75
3	10	31,1	30,9	29,4	5,5	6,6	31
4	15	33,5	33,4	29,5	5,5	6,6	33,45
5	20	35,9	35,8	30,2	6,1	7,2	35,85
6	25	38,1	37,9	30,4	6,7	7,8	38
7	30	40,2	40,1	30,9	6,6	7,9	40,15
8	35	41,4	41,2	31,9	6,7	7,8	41,3
9	40	42,5	42,4	31,7	6,4	7,5	42,45
10	45	42,7	42,4	30,4	6,4	7,5	42,55
11	50	42,7	42,5	30,9	6,6	8,1	42,6
12	55	42,8	42,7	30,6	6,6	8,1	42,75

Lampiran 2.1 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 1.

No	Menit	Q _{air1} [J]	q _{air} [J]	Q _{CPC} [W]	η _{CPC} [%]
1	0	0	0	168,19024	0
2	5	5086,224	16,95408	193,10732	8,77962
3	10	11655,93	19,42655	199,33659	9,7456
4	15	19073,34	21,1926	193,10732	10,9745
5	20	22888,008	19,07334	183,76341	10,3793
6	25	26702,676	17,801784	196,22195	9,07227
7	30	29987,529	16,65973833	208,68049	7,98337
8	35	34226,049	16,29811857	202,45122	8,05039
9	40	39418,236	16,424265	208,68049	7,87053
10	45	39524,199	14,63859222	208,68049	7,01484
11	50	39630,162	13,210054	202,45122	6,52506
12	55	39736,125	12,04125	202,45122	5,94773

Lampiran 2.2 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 2.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	161,96098	0
2	5	4556,409	15,18803	183,76341	8,26499
3	10	11655,93	19,42655	189,99268	10,2249
4	15	17271,969	19,19107667	199,33659	9,62747
5	20	22464,156	18,72013	199,33659	9,39122
6	25	27444,417	18,296278	202,45122	9,03738
7	30	31788,9	17,6605	193,10732	9,14543
8	35	34861,827	16,60087	202,45122	8,19994
9	40	37193,013	15,49708875	202,45122	7,65473
10	45	38464,569	14,24613667	193,10732	7,37732
11	50	38464,569	12,821523	202,45122	6,33314
12	55	38782,458	11,75226	202,45122	5,80498

Lampiran 2.3 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk lingkaran 3.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	161,96098	0
2	5	5298,15	17,6605	171,30488	10,3094
3	10	12927,486	21,54581	205,56585	10,4812
4	15	19073,34	21,1926	189,99268	11,1544
5	20	24583,416	20,48618	196,22195	10,4403
6	25	29669,64	19,77976	196,22195	10,0803
7	30	33060,456	18,36692	199,33659	9,21402
8	35	36239,346	17,25683143	205,56585	8,39479
9	40	38676,495	16,11520625	208,68049	7,72243
10	45	39524,199	14,63859222	199,33659	7,34366
11	50	39736,125	13,245375	205,56585	6,44337
12	55	39842,088	12,07336	205,56585	5,87323

Lampiran 2.4 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 1.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	161,96098	0
2	5	4344,483	14,48161	171,30488	8,45371
3	10	9854,559	16,424265	193,10732	8,50525
4	15	15576,561	17,30729	193,10732	8,96252
5	20	21192,6	17,6605	199,33659	8,85964
6	25	26702,676	17,801784	202,45122	8,79312
7	30	31788,9	17,6605	202,45122	8,72334
8	35	36239,346	17,25683143	208,68049	8,2695
9	40	37828,791	15,76199625	208,68049	7,55317
10	45	38146,68	14,1284	208,68049	6,77035
11	50	38358,606	12,786202	202,45122	6,3157
12	55	38782,458	11,75226	202,45122	5,80498

Lampiran 2.5 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 2.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	165,07561	0
2	5	4238,52	14,1284	168,19024	8,40025
3	10	10914,189	18,190315	183,76341	9,89877
4	15	16848,117	18,72013	183,76341	10,1871
5	20	22146,267	18,4552225	202,45122	9,11589
6	25	26702,676	17,801784	202,45122	8,79312
7	30	31894,863	17,71936833	202,45122	8,75241
8	35	36027,42	17,15591429	205,56585	8,3457
9	40	37298,976	15,54124	208,68049	7,44739
10	45	37828,791	14,01066333	193,10732	7,25538
11	50	38146,68	12,71556	202,45122	6,2808
12	55	38358,606	11,62382	202,45122	5,74154

Lampiran 2.6 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk segitiga 3.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	161,96098	0
2	5	4662,372	15,54124	161,96098	9,59567
3	10	11655,93	19,42655	171,30488	11,3403
4	15	17271,969	19,19107667	171,30488	11,2029
5	20	21828,378	18,190315	189,99268	9,57422
6	25	26384,787	17,589858	208,68049	8,42909
7	30	31788,9	17,6605	208,68049	8,46294
8	35	36133,383	17,20637286	208,68049	8,24532
9	40	36981,087	15,40878625	199,33659	7,73003
10	45	37404,939	13,85368111	199,33659	6,94989
11	50	37510,902	12,503634	205,56585	6,08254
12	55	37722,828	11,43116	205,56585	5,56083

Lampiran 2.7 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk kpersegi 1.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	165,07561	0
2	5	3920,631	13,06877	183,76341	7,11174
3	10	8794,929	14,658215	183,76341	7,97668
4	15	14199,042	15,77671333	189,99268	8,30385
5	20	19391,229	16,1593575	199,33659	8,10657
6	25	23629,749	15,753166	183,76341	8,57253
7	30	27550,38	15,30576667	202,45122	7,56022
8	35	30623,307	14,58252714	205,56585	7,09385
9	40	32530,641	13,55443375	208,68049	6,4953
10	45	33484,308	12,40159556	208,68049	5,94286
11	50	33908,16	11,30272	202,45122	5,58294
12	55	34014,123	10,30731	202,45122	5,09126

Lampiran 2.8 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi 2.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	168,19024	0
2	5	4238,52	14,1284	193,10732	7,31635
3	10	9430,707	15,717845	180,64878	8,70078
4	15	13881,153	15,42350333	183,76341	8,39313
5	20	18437,562	15,364635	189,99268	8,08696
6	25	23311,86	15,54124	189,99268	8,17992
7	30	27656,343	15,364635	202,45122	7,5893
8	35	29987,529	14,27977571	202,45122	7,05344
9	40	32424,678	13,5102825	205,56585	6,57224
10	45	32742,567	12,12687667	193,10732	6,27986
11	50	33166,419	11,055473	202,45122	5,46081
12	55	33484,308	10,14676	202,45122	5,01195

Lampiran 2.9 Data perhitungan untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi 3.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	161,96098	0
2	5	3708,705	12,36235	177,53415	6,96336
3	10	8477,04	14,1284	171,30488	8,24752
4	15	13669,227	15,18803	171,30488	8,86608
5	20	18755,451	15,6295425	189,99268	8,22639
6	25	23311,86	15,54124	208,68049	7,44739
7	30	27868,269	15,48237167	205,56585	7,53159
8	35	30305,418	14,43115143	208,68049	6,91543
9	40	32742,567	13,64273625	199,33659	6,84407
10	45	32954,493	12,20536778	199,33659	6,12299
11	50	33060,456	11,020152	205,56585	5,36089
12	55	33378,345	10,11465	205,56585	4,92039

Lampiran 2.10 Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan *receiver* berbentuk lingkaran.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	164,037	0
2	5	4980,261	16,6009	182,725	9,118
3	10	12079,782	20,133	198,298	10,1506
4	15	18472,883	20,5254	194,146	10,5855
5	20	23311,86	19,4266	193,107	10,0703
6	25	27938,911	18,6259	198,298	9,39665
7	30	31612,295	17,5624	200,375	8,78094
8	35	35109,074	16,7186	203,489	8,21504
9	40	38429,248	16,0122	206,604	7,74923
10	45	39170,989	14,5078	200,375	7,24527
11	50	39276,952	13,0923	203,489	6,43386
12	55	39453,557	11,9556	203,489	5,87531

Lampiran 2.11 Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan *receiver* berbentuk segitiga.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	162,999	0
2	5	4415,125	14,7171	167,152	8,81654
3	10	10808,226	18,0137	182,725	9,91479
4	15	16565,549	18,4062	182,725	10,1175
5	20	21722,415	18,102	197,26	9,18325
6	25	26596,713	17,7311	204,528	8,67178
7	30	31824,221	17,6801	204,528	8,64623
8	35	36133,383	17,2064	207,642	8,28684
9	40	37369,618	15,5707	205,566	7,57686
10	45	37793,47	13,9976	200,375	6,99187
11	50	38005,396	12,6685	203,489	6,22635
12	55	38287,964	11,6024	203,489	5,70245

Lampiran 2.12 Data perhitungan rata-rata untuk CPC dengan receiver berbentuk persegi.

No	Menit	Q_{air1} [J]	q_{air} [J]	Q_{CPC} [W]	η_{CPC} [%]
1	0	0	0	164,037	0
2	5	3955,952	13,1865	184,802	7,13048
3	10	8900,892	14,8348	178,572	8,30832
4	15	13916,474	15,4627	181,687	8,52102
5	20	18861,414	15,7178	193,107	8,13997
6	25	23417,823	15,6119	194,146	8,06661
7	30	27691,664	15,3843	203,489	7,56037
8	35	30305,418	14,4312	205,566	7,02091
9	40	32565,962	13,5692	204,528	6,63721
10	45	33060,456	12,2446	200,375	6,11524
11	50	33378,345	11,1261	203,489	5,46821
12	55	33625,592	10,1896	203,489	5,00787

