

**RANCANG BANGUN KOMPOR SURYA DENGAN
KONSENTRATOR LENS A FRESNEL**

SKRIPSI



oleh

**INTAN VARADIBA CHOLIS ANANDA
NIM B42130553**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2017**

**RANCANG BANGUN KOMPOR SURYA DENGAN
KONSENTRATOR LENS A FRESNEL**

SKRIPSI



sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST) di
Program Studi D-IV Teknik Energi Terbarukan

oleh

**INTAN VARADIBA CHOLIS ANANDA
NIM B42130553**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
2017**

Rancang Bangun Kompor Surya Dengan Konsentrator Lensa Fresnel

Telah Diuji pada Tanggal 31 Agustus 2017

Intan Varadiba Cholis Ananda

NIM. B4 213 0553

Tim Penguji:

Ketua,

Saiful Anwar, S.TP., MP.

NIP. 19691225 199702 1 001

Sekretaris,

Mochammad Nuruddin, ST., M.Si.

NIP. 19761111 200112 1 001

Anggota,

Yuli Hananto, S.TP., M.Si.

NIP. 19770722 200212 1 001

Menyetujui,

Ketua Jurusan Teknik



Dr. Bayu Rudiyanto, ST., M.Si.

NIP. 19731221 200212 1 001

PERSEMBAHAN

Bissmillahirohmanirohim Alhamdulillah robil'alamin Kupanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang membuat saya berusaha dengan besar hati sehingga saya dapat mempersembahkan sebuah karya untuk orang-orang yang selalu mengharapkannya. Saya ucapkan banyak terimakasih kepada:

- Kedua orang tuaku, yang selalu mengorbankan waktu, tenaga dan cintanya agar saya menjadi orang yang bermanfaat.
- Eanguti dan mbak Ratna, yang salalu mendukung dan membantuku mewujudkan cita –citaku.
- Saudara saudariku, yang selalu berusaha untuk menjadi manusia yang didambakan orangtua sesuai dengan ajaran agama kami.
- Teman-teman yang selalu menguatkan dalam masa sulitku, sahabat-sahabat baik, teman curhat dan teman teknik energi terbarukan angkatan 2013 yang selalu bersama berjuang untuk menempuh kuliah ini dengan baik.
- Para pembimbing Bapak Saiful Anwar S.TP,.MP dan Bapak Mochammad Nuruddin S.T.,M.Si yang saling melengkapi dan merelakan banyak waktunya untuk membimbing saya, juga semua dosen yang telah memnyalurkan ilmunya.
- Terima kasih untuk semua pihak yang membantu dalam terselesaikannya laporan ini.
- Yang terakhir untuk yang slalu ada menemani dan siap membantuku dimanapun dan kapanpun (Liebe).

MOTTO

“Hidup itu seperti sepeda. Agar tetap seimbang, kaki harus terus bergerak”.
(*Albert Einstein*)

“Jika kau ingin mengetahui sesuatu, berangkatlah dari ketidaktahuan

Jika kau ingin memiliki sesuatu, abaikan rasa kepemilikan itu

Jika kau ingin menjadi sesuatu, bersiaplah untuk menjadi sesuatu”.

(M. Nurkholis)

“Bahagia Itu bergantung pada dirimu sendiri”.

(Aristoteles)

“Lakukan hal-hal yang kau pikir tidak bisa kau lakukan”.

(Eleanor Roosevelt)

PRAKATA

Puji syukur peneliti panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat serta karunia-Nya yang telah diberikan kepada peneliti, sehingga peneliti dapat menyelesaikan dengan baik skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Kompur Surya Dengan Konsentrator Lensa Fresnel”**.

Karya ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST.) di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Jurusan Teknik di Politeknik Negeri Jember.

Pada kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada yang terhormat :

1. Direktur Politeknik Negeri Jember,
2. Ketua Jurusan Teknik,
3. Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan,
4. Saiful Anwar S.TP., MP. selaku dosen pembimbing 1.
5. Mochammad Nuruddin ST., M.Si selaku dosen pembimbing 2
6. Ayah dan Ibu beserta keluarga besarku tercinta yang selalu memberi do'a dan semangat.
7. Teman seperjuangan mahasiswa D-IV Teknik Energi Terbarukan serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan magang kerja industri.

Akhir kata peneliti menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, peneliti mengharapkan mendapatkan masukan dan kritikan yang dapat membangun untuk laporan ini dan dapat bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jember maupun bagi pembaca lainnya.

Jember, 31 Agustus 2017

Peneliti

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
SURAT PERNYATAAN	xii
ABSTRACK	xiii
RINGKASAN	xv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xvi
 BAB.1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Energi Surya	4
2.2 Kompor Tenaga Surya	4
2.3 Prinsip Kerja Kompor Tenaga Surya	5
2.3.1 Perpindahan Kalor	5
2.4 Prinsip Kerja Kolektor Konsentrasi	7
2.5 Konsentrator Lensa Fresnel	8
2.6 Parameter Lensa Fresnel	9
2.7 Analisa Perhitungan Performansi Kompor Surya	10

2.7.1 Metode <i>Water Boiling Test</i>	10
2.7.2 Energi yang Diterima Kompor	10
2.7.3 Energi yang Diterima Air	10
2.7.1 Efisiensi dari Kompor Surya.....	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Rangkaian Kegiatan dalam Penelitian	12
3.4 Perancangan Teknik.....	13
3.4.2 Spesifikasi Desain.....	13
3.4.3 Perhitungan Perancangan.....	15
3.5 Pengujian	18
3.6 Analisa Data	21
3.6.1 Estimasi Daya Masak.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Hasil Rancangan Kompor Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel	22
4.2 Uji Unjuk Kerja Kompor Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel	23
4.2.1 Pemilihan Nilai Sudut Tetap Lensa Fresnel	23
4.2.2 Nilai Efisiensi Kompor Surya Lensa Fresnel	25
4.3 Faktor-Faktor Pengaruh Kinerja Lensa Fresnel	26
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kebutuhan temperature dalam proses pengulahan makanan	5
4.1 Spesifikasi kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat	23
4.2 Tabel unjuk kerja kompor surya sudut 45°	25

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Berkas Cahaya pada lensa cembung (Menghani, 2012)	8
3.1 Rangkaian kegiatan dalam penelitian	12
3.2 Desain kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel.....	13
3.3 Dimensi konsentrator lensa fresnel dan penyangga.....	13
3.4 Dimensi penyangga konsentrator lensa fresnel.....	14
3.5 Dimensi penyanggah konsentrator dan <i>adjustment angel</i> lensa fresnel	14
3.6 Dimensi meja penyangga bahan masakan	15
4.1 Hasil rancangan kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel	22
4.2 Grafik intensitas cahaya hasil perbandingan sudut 45° dan 60°	24
4.3 Grafik efisiensi hasil perbandingan sudut 45° dan 60°	24
4.4 Grafik efisiensi kompor surya pada sudut 45°	26
4.5 Grafik pengamatan intensitas cahaya matahari pada sudut 45°	27
4.5 Grafik pengamatan <i>relative humidity</i> pada sudut 45°	27
4.6 Grafik pengamatan suhu sudut 45° pada tanggal 12-17 Juni 2017	28

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Data hasil perhitungan.....	34
2. Foto publikasi kegiatan penelitian.....	37

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Intan Varadiba Cholis Ananda

NIM : B42130553

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi saya yang berjudul “Rancang Bangun Kompur Surya Dengan Konsentrator Lensa Fresnel” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing, serta belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir Skripsi ini.

Jember, 31 Agustus 2017

Intan Varadiba Cholis Ananda
NIM. B42130553

Rancang Bangun Kompor Surya Denga Konsentrator Lensa Fresnel (*Design For Solar Stove with Fresnel Lens Concentrator*)

Intan Varadiba Cholis Ananda
Renewable Energy Engineering Program Study
Engineering Department

ABSTRACK

Solar stove with fresnel lens concentrator is a solar cooker with a working principle of solar thermal concentrator used to capture solar radiation and in this case, direct radiation from the sun is focused into heat for various applications. The main objective of the present study is used fresnel lens that has the catch 0,29 m x 0.29 m thickness of 0.03 m, and focal length 0.12 m. The objective of this research is to improve the performance of solar stove by using fresnel lens concentrator. The experimental results show that the average of direct solar radiation is 782 W / m² (at 10:00 to 14:00 o'clock). Meanwhile, the test using angle variation of 30°, 45°, and 60°. Test results with 45° angle has the highest average water temperature value of 44,9 °C with the highest average efficiency value of 53,9%.

Keyword: Solar stove, Solar thermal concentrator, Fresnel lens, radiation.

Rancang Bangun Kompor Surya Denga Konsentrator Lensa Fresnel

Intan Varadiba Cholis Ananda
Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Jurusan Teknik

ABSTRAK

Kompor surya dengan konsentrator lensa Fresnel adalah kompor surya dengan prinsip kerja konsentrator panas matahari digunakan untuk menangkap radiasi matahari dan dalam hal ini, radiasi langsung dari sinar matahari yang difokuskan menjadi panas untuk berbagai aplikasi. Dalam penelitian ini digunakan lensa fresnel yang mempunyai luasan penangkapan 0,29 m x 0,29 m , ketebalan 0,03 m, dan panjang fokus 0,12 m. Tujuan penelitian ini adalah mengupayakan adanya peningkatan kinerja kompor surya dengan menggunakan konsentrator lensa fresnel. Hasil percobaan menunjukkan bahwa rata-rata radiasi matahari langsung 782 W/m² (pada pukul 10.00-14.00). Sedangkan, pengujian menggunakan variasi sudut yaitu 30°, 45°, dan 60°. Hasil pengujian dengan sudut 45° memiliki nilai temperatur air rata-rata tertinggi sebesar 44,9 °C dengan nilai rata-rata efisiensi tertinggi sebesar 53,9 %.

Kata kunci: Kompor Surya, Konsentrator panas matahari, lensa Fresnel, Radiasi.

RINGKASAN

Rancang Bangun Kompor Surya Dengan Konsentrator Lensa Fresnel, Intan Varadiba Cholis Ananda, NIM B42130553, Tahun 2017, 35 hlm, Teknik, Politeknik Negeri Jember, Saiful Anwar, S.TP., MP. (Pembimbing I) dan Mochammad Nuruddin, ST., M.Si. (Pembimbing II).

Indonesia merupakan negara dengan penggunaan energi disektor rumah tangga yang tergolong besar, karena sebagian besar sumber energi berasal dari bahan bakar LPG, kayu ataupun listrik. Maka penggunaan energi termal matahari sebagai sumber energi alternatif sangat diperlukan. Salah satu inovasi dari pemanfaatan energi surya adalah pengembangan peralatan kompor tenaga surya Kompor surya yang berkembang selama ini lebih banyak tipe *direct solar cooker* karena mempunyai kelebihan yaitu bentuknya sederhana dan murah. Salah satu cara untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi penangkapan radiasi termal surya adalah dengan memfokuskan (*concentrating*) sinar matahari. Menurut Kimambo (2007), tipe *concentrating cooker* mempunyai beberapa kelebihan yaitu efisiensi tinggi, suhu yang cukup tinggi serta proses memasak yang lebih cepat. Berdasarkan hal tersebut, peneliti mencoba untuk merancang dan menciptakan kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang bertujuan mengupayakan adanya peningkatan kinerja kompor surya dengan menggunakan konsentrator lensa fresnel.

Kompor surya dengan konsentrator lensa Fresnel memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 53,39 % dibandingkan nilai efisiensi desain yaitu 52,98 % dengan nilai I_r 782,8 W/m², hal ini menunjukkan bahwa kinerja lensa fresnel yang dibuat telah mencapai hasil yang optimum dalam segi penggunaan lensa fresnel dengan sudut tetap. Namun nilai efisiensi rata-rata memiliki nilai dibawah efisiensi desain yaitu 34,50 %, hal tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu salah satunya faktor lingkungan, sehingga untuk proses pemasakan masih perlu adanya penambahan sistem otomatis untuk pergerakan sudut lensa fresnel, dan mengurangi dampak dari faktor lingkungan.



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Intan Varadiba Cholis Ananda
NIM : B42130553
Program Studi : Teknik Energi Terbarukan
Jurusan : Teknik

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah berupa Skripsi saya yang berjudul:

Rancang Bangun Kompor Surya Dengan Konsentrator Lensa Fresnel

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkalan Data (Database), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam Karya Ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jember
Pada Tanggal : 31 Agustus 2017

Yang Menyatakan,

Nama : Intan Varadiba Cholis Ananda

NIM : B42130553

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang melimpah dan bebas polusi yang memancarkan energi ke permukaan bumi dan besar potensinya untuk mengatasi permasalahan energi maupun pemanasan global akibat polusi bahan bakar minyak. Permukaan bumi menerima lebih dari 1000 W/m² energi matahari ketika cuaca cerah. (Duffie, 1980).

Energi surya merupakan bentuk radiasi yang dihasilkan dari reaksi fusi nuklir dalam inti matahari. Radiasi ini selanjutnya merambat ke bumi melalui angkasa dalam bentuk energi yang disebut foton. Meskipun energi surya ini hanya 30% yang mencapai bumi, energi yang terpancar selama 30 menit saja mampu memenuhi kebutuhan energi di bumi selama setahun (Kalogirou, 2004).

Indonesia merupakan negara yang terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayahnya. Indonesia mempunyai cuaca kondisi cerah pertahun (*sunshine hours annually*) adalah sekitar 2975 jam atau 124 hari sedangkan rata-rata lamanya penyinaran sekitar 8,2 jam per hari. (KESDM, 2010).

Sementara itu di Indonesia penggunaan energi disektor rumah tangga masih tergolong besar, karena sebagian besar sumber energi berasal dari bahan bakar LPG, kayu ataupun listrik. Maka penggunaan energi termal matahari sebagai sumber energi alternatif sangat diperlukan. Salah satu inovasi dari pemanfaatan energi surya adalah pengembangan peralatan kompor tenaga surya. Prinsip kerja kompor surya secara umum yaitu dengan memanfaatkan pantulan sinar matahari yang difokuskan pada suatu titik, sehingga menghasilkan efektifitas panas yang lebih tinggi, hemat, aman, bebas polusi dan murah dari pada kompor yang dipakai oleh masyarakat pada umumnya. Prinsip kerja kompor suya terdiri dari tiga mekanisme perpindahan panas. Pertama, radiasi/penyinaran langsung (*direct solar rays*) yaitu sinar matahari diarahkan langsung ke obyek makanan. Kedua, melalui

konveksi yaitu makanan dipanaskan dengan udara panas dalam sebuah bilik terisolasi. Ketiga, konduksi yaitu perpindahan panas akibat sinar matahari yang diserap oleh kolektor plat logam (baja atau aluminium). Panas ini akan dihantarkan kedalam makanan melalui panci yang diletakan di atas kolektor plat logam tersebut. Gabungan ketiga kombinasi perpindahan panas ini akan meningkatkan efisiensi proses memasak dengan kompor surya. Kompor surya yang berkembang selama ini lebih banyak tipe *direct solar cooker* karena mempunyai kelebihan yaitu bentuknya sederhana dan murah. Salah satu cara untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi penangkapan radiasi termal surya adalah dengan memfokuskan (*concentrating*) sinar matahari. Menurut Kimambo (2007), tipe *concentrating cooker* mempunyai beberapa kelebihan yaitu efisiensi tinggi, suhu yang cukup tinggi kisaran 300 – 350°C bisa digunakan untuk proses penggorengan dan proses memasak yang lebih cepat. Berdasarkan latar belakang tersebut di atas maka tujuan umum tulisan ini adalah membahas tentang rancang bangun kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel.

Penelitian ini mengupayakan adanya peningkatan kinerja kompor surya dengan menggunakan konsentrator lensa fresnel. Konsentrator lensa fresnel pada penelitian kompor surya ini berbentuk persegi dengan tebal 4 mm dan luas 290 mm x 290 mm. Sehingga diharapkan dengan menggunakan konsentrator lensa fresnel dalam kontruksi kompor surya dapat menghasilkan panas yang lebih tinggi. Penelitian ini akan membahas Rancang Bangun Kompor Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel, hal ini dilakukan untuk menentukan daya kerja yang dapat dicapai oleh kompor surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, perumusan masalah yang diangkat dari penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana perencanaan desain kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel?
- b. Bagaimanakah kinerja kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat?

- c. Apakah faktor-faktor yg mempengaruhi kinerja kompor surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

- a. Mendesain kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel.
- b. Menganalisa kinerja kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat.
- c. Menganalisa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja kompor surya.
- d. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang rancang bangun kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel dan sebagai acuan dan bahan studi pustaka oleh para peneliti selanjutnya, jika melakukan penelitian sejenis.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai sumber informasi kepada masyarakat dalam pemanfaatan kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel energi alternatif masa depan dan mengetahui proses kerja serta pembuatan kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel dengan mudah serta sebagai acuan dan bahan studi pustaka oleh para peneliti selanjutnya, jika melaksanakan penelitian sejenis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Surya atau matahari merupakan sebuah bola gas yang amat panas dengan garis tengah 1.39 juta kilometer dan berjarak rata-rata 150 juta kilometer dari bumi. Lapisan luar dari surya yang disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Radiasi surya yang sampai pada permukaan bumi telah mengalami perubahan intensitas akibat proses penghamburan oleh molekul-molekul udara, nitrogen, oksigen, *aerosol*, uap air debu dan partikel-partikel lain. Penghamburan radiasi ini mengakibatkan langit tampak berwarna biru pada hari cerah. Radiasi difusi biasanya juga disebut radiasi langi, apabila radiasi tidak mengalami penghamburan oleh atmosfer, maka radiasi sampai ke permukaan bumi sebagai radiasi langsung.

Energi surya merupakan energi yang bersih, murah, aman, tak terbatas dan mampu terbarukan (*renewable*) yang berpotensi ekonomi yang sangat luar biasa. Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayahnya. Pemanfaatan energi surya dapat berupa energi photon dan energi termal. Energi photon dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan adanya *solar cell* sedangkan energi termal matahari dapat digunakan untuk proses *cooker, dryer, water heater, power plant*, distilasi air laut dan lain-lain (Sen, 2008).

2.2 Kompor Tenaga Surya

Kompor tenaga surya adalah perangkat masak yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Kompor tenaga surya merupakan suatu alat yang memanfaatkan energi termal dari matahari untuk keperluan memasak dengan suhu yang dapat mencapai kurang lebih 100 °C, sehingga proses memasak tidak memerlukan tambahan dari sumber energi lain seperti bahan bakar fosil. Tabel 2.1 menunjukkan kebutuhan temperatur untuk proses pengolahan makanan.

Tabel 2.1 Kebutuhan temperatur dalam proses pengolahan makanan

Tempratur °C	Kegunaan
45 - 50	Menghangatkan makanan
65 – 70	Proses pengeringan
70 – 75	Pasteurisasi makanan
80 – 85	Memasak makanan
100	Mendidihkan air
120	Sterilisasi
150 - 200	Penggorengan

Sumber: Asrori (2015)

2.3 Prinsip Kerja Kompor Tenaga Surya

Kompor tenaga surya adalah alat masak yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Energi surya yang dikonsentrasikan atau difokuskan secara optikal sebelum ditransfer menjadi panas merupakan cara kerja dari *solar thermal concentrating*. Mekanisme ini dapat diperoleh dengan cara pemantulan (*reflection*) atau pembiasan (*refraction*) radiasi surya dengan menggunakan cermin atau lensa. Cahaya yang dipantulkan atau dibiaskan akan terkonsentrasi pada daerah fokus, selanjutnya akan menaikkan *flux* energi pada target penerima (*receiver* atau *absorber*) (Kalogirou,2004).

2.3.1 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor merupakan perpindahan energi yang terjadi karena perbedaan temperatur diantara dua benda atau material. Perpindahan kalor yang umum terdiri dari perpindahan kalor secara radiasi, konduksi dan konveksi.

a. Perpindahan Kalor secara radiasi

Radiasi matahari adalah sinar yang dipancarkan dari matahari kepermukaan bumi, yang disebabkan oleh adanya emisi bumi dan gas pijar panas matahari. Radiasi dan sinar matahari dipengaruhi oleh berbagai hal sehingga pancarannya yang sampai dipermukaan bumi sangat bervariasi. Penyebabnya adalah kedudukan matahari yang berubah-ubah, revolusi bumi, dan lain sebagainya. Walaupun cuaca

cerah dan sinar matahari tersedia banyak, besarnya radiasi supaya tiap harinya selalu berubah-ubah. Radiasi surya dipermukaan bumi akan bervariasi sekitar 1000 W/m² dan tergantung kondisi awan, debu, kabut dan sebagainya. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut (Holman, J.P. 2010):

$$Q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

Q_{pancaran} = Laju perpindahan panas (W)

σ = Konstanta boltzman (5,669.10⁻⁸ W/m².K⁴)

A = Luas permukaan benda (m²)

T = Suhu absolut benda (°C)

Radiasi Matahari yang terpancar kebumi sangat bervariasi hal ini disebabkan adanya perubahan letak matahari pada setiap waktu. Adanya perubahan letak matahari terhadap bumi, radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu radiasi langsung (*direct radiation*), radiasi sebaran (*diffuse radiation*), radiasi pantulan.

b. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi yaitu perpindahan kalor yang terjadi yang diakibatkan adanya perbedaan temperatur sehingga kalor dapat berpindah dari temperatur yang tinggi menuju temperatur yang lebih rendah atau yang diakibatkan oleh medium atau partikel – partikel yang bersinggungan secara langsung. Perpindahan kalor secara konduksi merupakan energi yang terjadi karena adanya hubungan antara molekul atau partikel secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Berikut persamaan perpindahan kalor secara konduksi (Holman, J.P. 2010):

$$\frac{Q}{t} = \frac{K.A.\Delta T}{l} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

Q = Energi kalor (Joule)

K = Koefisien konduksi (konduktifitas termal)

t = Waktu (s)

A = Luas penampang (m^2)

L = Panjang logam (m)

T = Suhu ($^{\circ}C$)

c. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan meningkatkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana partikel- partikel akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel- partikel lainnya. Jika suatu plat panas dibiarkan berada diudara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar, maka udara itu bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas di dekat plat itu. Peristiwa ini dinamakan konveksi alamiah, sedangkan konveksi paksa jika udara dihembuskan dengan kipas. Pada perpindahan panas secara konveksi, energi kalor akan dipindahkan ke sekelilingnya dengan perantaraan fluida. Berikut persamaan perpindahan kalor secara konveksi (Holman, J.P. 2010):

$$\frac{Q}{t} = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

Q = Energi kalor (Joule)

h = Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^{\circ}C$)

A = Luas penampang (m^2)

t = Waktu (s)

ΔT = Perbedaan suhu ($^{\circ}C$)

2.4 Prinsip Kerja Kolektor Konsentrasi

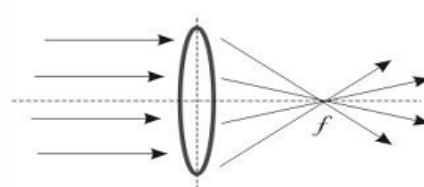
Menurut Kalogirou (2004), pada *concentrating collector* energi surya dikonsentrasikan/difokuskan secara optikal sebelum ditransfer menjadi panas.

Mekanisme konsentrasi ini dapat diperoleh dengan cara pemantulan (*reflection*) atau pembiasan (*refraction*) radiasi surya dengan menggunakan cermin atau lensa. Cahaya yang dipantulkan atau dibiaskan akan terkonsentrasi pada daerah fokus, selanjutnya akan menaikkan flux energi pada target penerima (*receiver/absorber*).

Untuk menghitung jumlah radiasi matahari yang masuk melalui konsentrator harus diketahui luasan bukaan/penangkapan (*aperture area*) dari konsentrator tersebut. Radiasi surya pada area ini dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dan tidak termasuk pengurangan beberapa area akibat pengaruh sudut datang matahari atau efek bayangan. Intensitas radiasi matahari (*insolation*) yang melalui luasan konsentrator akan difokuskan dan diserap seperti pada *kasus flat-plate collector*.

2.5 Konsentrator Lensa Fresnel

Lensa cembung cahaya paraksial dibiaskan menuju ke titik fokus nyata di depan lensa, sehingga lensa cembung dikatakan bersifat konvergen. Jarak antara lensa dengan titik fokusnya dinamakan jarak fokus.



Gambar 2.1 Berkas cahaya pada lensa cembung (sumber : Menghani, et al, 2012)

Berkas-berkas paralel dengan sumbu yang jatuh pada lensa tipis, akan difokuskan pada satu titik (f). Berkas-berkas paralel akan difokuskan pada satu bagian kecil yang hampir berupa titik jika diameter lensa lebih kecil dibandingkan dengan radius kelengkungan kedua permukaan lensa. Kriteria ini dipenuhi oleh lensa yang sangat tipis dibandingkan dengan diameternya. Titik fokus lensa bisa ditemukan dengan menentukan titik titik dimana berkas berkas cahaya matahari atau benda jauh lainnya dibentuk menjadi bayangan yang tajam. Agustin Fresnel mengurangi berat dan ketebalan lensa dengan memindahkan “bagian silindris” dari lensa seperti mengubah bentuknya namun tanpa mengubah cahaya dari hasil

pembiasannya. Lensa Fresnel ini digunakan untuk meningkatkan intensitas cahaya, digunakan untuk mercusuar, dengan meningkatkan kekuatan lensa (Asori, 2015).

2.6 Parameter lensa fresnel

Optical Concentration Ratio (CRo) adalah rata-rata *irradiance (radiant flux)* (I_r) yang terintegrasi di atas area *receiver (Ar)*, dibagi dengan *Insolation* pada bukaan kolektor (Stine & Geyer, 2001). Rasio konsentrasi optik (CRo) berhubungan langsung dengan lensa atau kualitas reflektor, namun demikian banyak kolektor yang mempunyai luas permukaan penerima lebih besar dari *solar image* yang terkonsentrasi.

$$CR_o = \frac{I_r \text{ rata-rata}}{I_a} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

$I_r \text{ rata-rata}$ = Iradiasi rata- rata (W/m^2)

I_a = Radiasi surya yang masuk ke kompor (W/m^2)

Luasan titik fokus merupakan sebuah kasus dari lensa fresnel. Rasio konsentrasi geometris yang besar menunjukkan kemampuan untuk memanfaatkan intensitas cahaya yang besar pula, dengan demikian rasio konsentrasi memiliki dampak besar pada suhu akhir dari penerima (*receiver*) energi surya. Pengurangan ukuran *cavity receiver* pada rasio konsentrasi yang besar akan mengurangi kehilangan panas radiasi.

Berdasarkan penelitian Ferriere (2004), lensa fresnel PMMA (*polymethyl methacrylate*) dengan geometri sirkular (diameter = 900 mm, tebal = 3,17 mm, jarak fokus = 757 mm) diperoleh flux densitas radiasi surya pada titik fokus dapat mencapai 2664 kali artinya untuk penangkapan radiasi 1000 W/m^2 diperoleh maksimum ensitas energi pada titik fokus 264 W/cm^2 .

Menurut Asori (2015), dari data pengukuran radiasi langsung lensa fresnel PMMA dengan ukuran 1000 x 1000 mm, tebal 3 mm dan jarak fokus 880 mm, selama 3 jam yaitu pukul 10.00 sampai dengan 13:00 diperoleh iradiasi rata-rata 951,16 W/m^2 . Total energi radiasi langsung yang mampu di transfer oleh lensa fesnel dengan luas 1 m^2 selama 3 jam adalah 10272,56 kJ dan didapatkan hasil

pengukuran temperatur stagnasi yaitu mencapai 507,79 °C serta temperatur stagnasi tertinggi tercatat pada pukul 12:30 yang mencapai 570 °C.

2.7 Analisa Perhitungan Performansi Kompor Surya

2.7.1 Metode *Water Boiling Test*

Metode *Water Boiling Test* (WBT) adalah suatu cara uji unjuk kerja tungku dengan cara mendidihkan air yang berada di dalam panci, yang tujuannya untuk mengetahui jumlah energi yang dihasilkan dari bahan bakar yang dipindahkan ke dalam panci yang berisi air (Bailis, 2007).

2.7.2 Energi Yang Diterima Kompor

Menurut Marwani (2011), energi yang diterima kompor dapat ditentukan dengan mengkalikan luasan lensa fresnel dengan intensitas radiasi matahari sehingga diperoleh daya dalam satuan watt :

$$Q_{in} = A_{kom} \cdot I_r \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

Q_{in} = Daya yang diterima Kompor (W)

A_{kom} = Luas Lensa Kompor (m²)

I_r = Intensitas Radiasi Matahari (W/m²)

2.7.3 Energi Yang Diterima Air

Energi yang diterima air dapat dipketahui melalui perhitungan dengan mengkalikan massa air total didalam panci dan panas jenis air (4186 J/kg.K), (Marwani, 2011).

$$Q_{out} = M \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

Q_{out} = Energi yang diterima air (J)

M = Massa air (kg)

C_p = Panas Jenis air (4186 kJ/kg.°C)

T_2 = Temperatur akhir air (°C)

T_1 = Temperatur awal air (°C)

2.7.4 Efisiensi dari kompor surya

Nilai efisiensi dari kompor surya diperoleh dari perhitungan energi yang diterima air dibagi dengan selang waktu pertambahan energi , sehingga diperoleh daya dalam satuan watt , hasil tersebut dibagi dengan daya yang diterima kompor dan dikalikan 100 % , (Marwani, 2011).

$$\eta = \frac{Q_{out}/\Delta t}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan :

η = Efisiensi Kompor (%)

Q_{out} = Energi yang diterima air (J)

Q_{in} = Daya yang diterima Kompor (W)

Δt = Selang waktu pertambahan energi (s)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember. Waktu yang diperlukan untuk penelitian ini adalah 3 bulan meliputi penyusunan proposal dan penelitian.

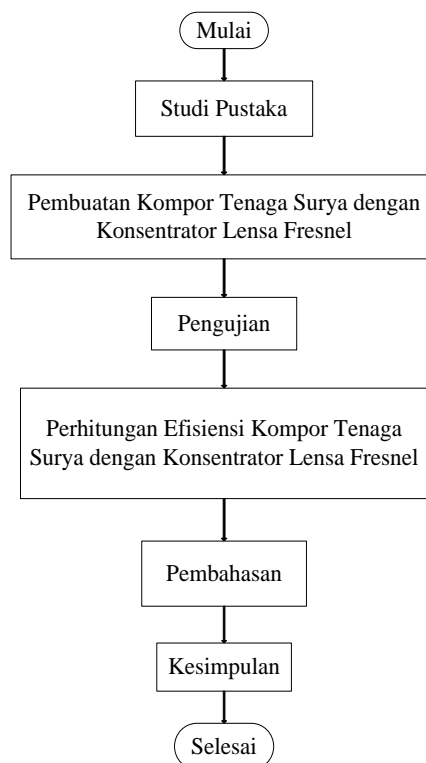
3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sebanyak 1 liter, dan kompor tenaga surya dengan konsentrator lensa fresnel.

Peralatan yang digunakan adalah ember, gelas ukur, botol kaca (panci), termokopel tipe k, *solarimeter*, dan RH meter.

3.3 Rangkaian Kegiatan dalam Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu :

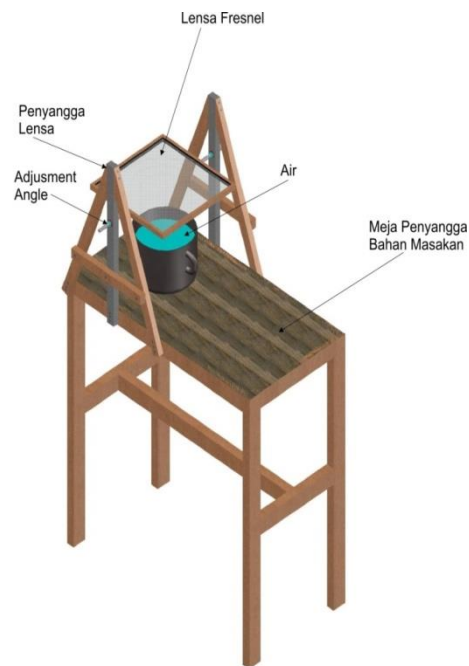


Gambar 3.1 Rangkaian kegiatan dalam penelitian

3.4 Perancangan Teknik

3.4.1 Kriteria Desain

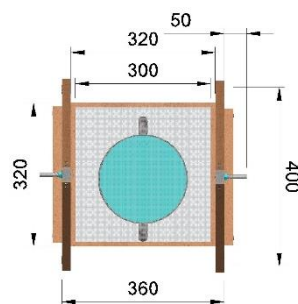
Pembuatan kompor tenaga surya dengan konsentrator lensa fresnel ini diharapkan mampu mendidihkan 1 liter air dalam waktu kurang lebih 10 menit dengan laju perubahan suhu yang tinggi. Kompor tenaga surya dengan konsentrator lensa fresnel dibuat untuk kompor tenaga surya dengan tujuan memperoleh efisiensi yang terbaik.



Gambar 3.2 Desain kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel

3.4.2 Spesifikasi Desain :

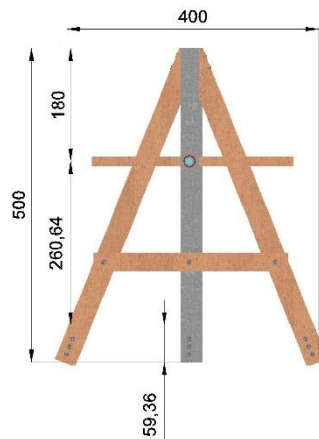
a. Konsentrator Lensa Fresnel dan Penyangga



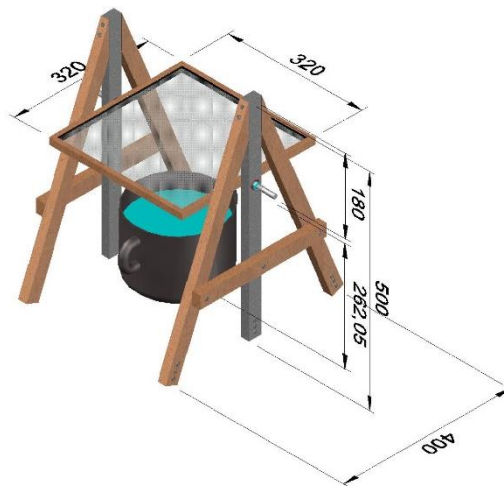
Gambar 3.3 Dimensi konsentrator lensa fresnel dan penyangga.

Konsentrator lensa fresnel menggunakan *frame* berupa kayu triplek karena bahan konsentrator yang *relative* ringan, dengan ukuran frame 320 x 320 mm dan untuk ukuran cermin yakni 300 x 300 mm.

b. Penyangga Konsentrator Lensa Fresnel



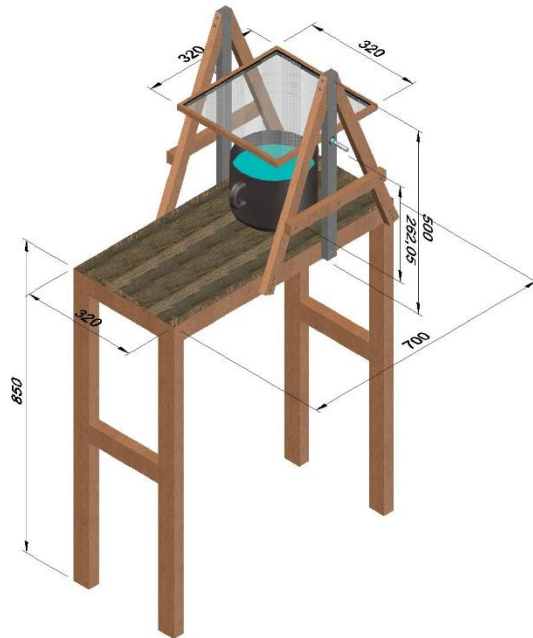
Gambar 3.4 Dimensi penyangga konsentrator lensa fresnel



Gambar 3.5 Dimensi penyangga dan *adjustment angel* konsentrator lensa fresnel

Penyangga Konsentrator Fresnel menggunakan berbentuk menyerupai segitiga sama kaki, agar dapat menyeimbangkan lensa fresnel ketika terjadi perubahan sudut, penyanggah berbahan kayu berukuran 30mm x 20mm dan terdapat as dengan diameter 5 mm, baut ukuran 8 mm, tinggi dari penyanggah adalah 500 mm dan lebarnya adalah 400 mm.

c. Meja Penyangga Bahan Masakan



Gambar 3.6 Dimensi meja penyangga bahan masakan

Meja penyangga bahan makanan berbahan kayu berukuran 400 x 400 mm pada rangka, menggunakan kayu triplek berukuran 420 x 800 mm dengan tebal 50 mm. Tinggi meja adalah 850 mm, dengan lebar 420 mm dan panjang 800 mm.

3.4.3 Perhitungan Perancangan:

Menentukan beban kompor tenaga surya yang akan dibuat, menggunakan perhitungan pemasakan air dengan rumus sebagai berikut:

a. Beban memasak Air 1 liter

Volume air (V):

$$V = 1 \text{ L} = 0,001 \text{ m}^3$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

b. Massa air (m) dapat dihitung dengan nilai massa jenis air (ρ) dikalikan dengan volume air (V).

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,001 \text{ m}^3$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

- c. Perbedaan suhu (ΔT) merupakan hasil dari perhitungan suhu akhir (T_2) dikurangi suhu awal air (T_1). Suhu awal air adalah 30°C dan suhu akhir air (untuk menaikkan suhu) 35°C .

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 35^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 5^\circ\text{C}$$

- d. Menentukan energi perpindahan kalor pada air (Q_w) maka dapat melalui perhitungan massa air (m) dikalikan dengan kalor spesifik air (C_p) adalah $4,186 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ lalu dikalikan dengan perbedaan suhu atau ΔT .

$$Q_w = \left(\frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{t} \right)$$

$$Q_w = \left(\frac{1 \text{ Kg} \cdot 4186 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} \cdot (35^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{600 \text{ detik}} \right)$$

$$Q_w = 34,8 \text{ W}$$

- e. Daya input kompor

$$Q_{in} = I_d \cdot A_{ac}$$

$$Q_{in} = 786 \text{ W/m}^2 \cdot 0,0841 \text{ m}^2$$

$$Q_{in} = 66,1 \text{ W}$$

- f. Efisiensi desain kompor surya

$$\text{Efisiensi} = (Q_{out}/Q_{in}) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = (34,8 \text{ W}/66,1 \text{ W}) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 52,7 \%$$

- g. Menghitung spesifikasi diameter panci, Jenis panci yang digunakan yaitu kaca, kaca memiliki konduktivitas termal (k).

$$k = 0,8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

- h. Jarak fokus lensa Fresnel yaitu dapat diketahui dari spesifikasi pabrik sekitar 12 cm .

- i. Tinggi meja penyangga ditentukan dari standar tinggi meja dapur orang indonesia agar kegiatan memasak lebih nyaman yaitu antara $80 \text{ cm} - 90 \text{ cm}$, untuk meja penyangga yang saya akan buat menggunakan tinggi 85 cm (Salim P,2014).

3.5 Pengujian

Metode yang digunakan untuk menguji kompor surya yang dibuat adalah *Water Boiling Test* (WBT). WBT adalah simulasi kasar dari proses pemasakan yang dapat membantu para perancang kompor surya untuk mengetahui seberapa baik energi panas dapat ditransfer pada alat masak (Bailis, 2007). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi kompor surya dan efisiensi sistem. Parameter yang diukur pada WBT didasarkan pada audit rinci kompor, yaitu Q_{input} = kebutuhan perpindahan panas terpakai, Q_e = panas efektif, Q_{output} = panas yang digunakan untuk mendidihkan dan menguapkan air.

Kegiatan uji kinerja kompor surya ini dilakukan pada bulan Januari 2017 di Laboratorium Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember. Pengujian kompor menggunakan metode WBT memerlukan alat dan bahan sebagai berikut:

- a. 1 liter air dan 1 buah panci
- b. 3 buah kabel sensor termokopel tipe K
- c. 1 buah termokopel batang tipe K
- d. 1 buah *solarimeter*
- e. 1 buah busur
- f. 1 buah RH meter
- g. 1 buah gelas ukur

Pengujian dengan menggunakan metode *water boiling test* yang didekati dengan audit rinci kompor, maka diperlukan batasan sistem, yaitu :

- a. *Input* energi yang diperhitungkan adalah energi langsung yang digunakan dalam proses pemanasan. Energi langsung berupa iradiasi matahari.
- b. Tekanan atmosfer didekati dengan nilai 1 atm.
- c. Energi *output* hanya dihitung berdasarkan panas yang digunakan untuk memanaskan dan menguapkan air.

1. Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dengan cara:

Siapkan alat dan peralatan di tempat yang sama sekali tidak terhalang sinar matahari yang masuk. Siapkan bahan berupa air sebanyak 1 liter, selanjutnya ukur massa air awal sebelum perebusan dan ukur suhu awal menggunakan Termokopel

tipe K, selanjutnya masukan air kedalam panci letakan diatas meja kompor surya dan pasang kabel sensor Termokopel tipe K pada air dalam panci (tercelup dalam air, dinding panci, dan lingkungan. Selanjutnya atur posisi konsentrator sehingga titik fokus tepat mengarah ke dalam panci atau langsung difokuskan pada air yang akan direbus. Anemometer untuk mengukur kecepatan udara lingkungan diletakkan di samping kompor surya. Proses ini dilakukan selama 5 jam mulai pukul 09:00 sampai 14:00 WIB, dengan interfal waktu 10 menit.

Selanjutnya ukur energi radiasi matahari pada saat melakukan pengujian sampai air benar-benar mendidih menggunakan *Solarimeter*. Catat lama waktu perebusan selanjutnya ukur massa akhir air dan suhu akhir air setelah pengujian. Ulangi tiap pengukuran tersebut sebanyak 3 kali dengan diameter panci yang berbeda dan unit yang sama.

2. Pengamatan dan pengukuran

Parameter yang diukur selama pengujian alat meliputi :

- a) Massa awal air sebelum dan massa akhir air sesudah perebusan.
- b) Suhu awal air sebelum dan suhu akhir sesudah perebusan, suhu lingkungan dan suhu panci.
- c) Energi yang tersedia untuk proses perebusan menggunakan *solarimeter*.
- d) Energi yang di dipusatkan oleh konsentrator menggunakan *solarimeter*.
- e) Lama waktu selama perebusan.
- f) Tingkat kelembapan lingkungan (RH)

3. Parameter pengujian

Parameter yang dihitung selama proses dan setelah pengujian meliputi :

- a) Energi yang tersedia untuk proses perebusan menggunakan alat pengukur radiasi surya *solarimeter* (W/m^2).
- b) Energi yang digunakan untuk merebus air.
- c) Energi yang masuk ke alat.

4. Pengamatan yang dilakukan selama proses pengujian yaitu:

- a) Suhu pada saat perebusan

Pengukuran suhu pada saat perebusan air dilakukan menggunakan thermokopel tipe K untuk mengetahui perubahan suhu pada saat perebusan dan

mengetahui perubahan suhu pada panci serta meletakkan sensor thermokopel di luar alat untuk mengetahui suhu normal lingkungan .

b) Lama perebusan

Lama waktu perebusan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air sampai suhu maksimal alat yang dicapai sesuai dengan ukuran konsentrator selanjutnya data dicatat dan disajikan dalam tabel.

c) Energi yang tersedia

Energi yang tersedia menggunakan radiasi sinar matahari yang diukur menggunakan *solarimeter*. Energi inilah yang nanti akan digunakan untuk memasak. Pengamatan ini dilakukan pada saat melakukan perebusan air pada pukul 09:00 sampai dengan pukul 14:00 WIB.

d) Massa air

Massa awal pada saat mulai perebusan diukur terlebih dahulu selanjutnya setelah melakukan perebusan akan diketahui massa akhir yang selanjutnya diukur dan dicatat untuk diolah ke dalam data.

3.6 Analisa Data

Analisa data merupakan uraian tentang data yang telah diukur secara terperinci. Setelah di dapatkan nilai perhitungan akan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah di mengerti oleh pembaca. Hubungan data interval pada penelitian ini antara lain :

- a. Hubungan antara temperature air dengan Iradiasi.
- b. Hubungan antara daya masak interval waktu dengan selisih temperatur air dan lingkungan.

3.6.1 Estimasi Daya Masak

Pengujian kompor surya memiliki standart yang mengacu pada ASAE 2003 (*American Society Of Agricultural Engineers*) menetapkan bahwa hasil dari estimasi daya masak akan disajikan dalam satuan Watt. Hasil dari perhitungan estimasi daya masak sendiri akan di normalisasikan dengan estimasi daya masak tiap interval waktu pengambilan data.

a. Pengambilan data

Mencatat suhu air dari panci pada kompor surya yang diuji dengan interval waktu 10 menit dan suhu air dalam satuan *celcius* (C), radiasi matahari dalam satuan Watt/m² (W/m²), suhu lingkungan dalam satuan celcius (C).

b. Daya yang diterima air

$$Q_{out} = \frac{M.C_p.(T_2 - T_1)}{\Delta t} \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana :

- Q_{out} = Daya yang diterima air (W)
- M = Massa air (kg)
- C_p = Panas Jenis air (4186 kJ/kg.°C)
- T_2 = Temperatur akhir air (°C)
- T_1 = Temperatur awal air (°C)
- Δt = Selang waktu pertambahan energi (s)

c. Daya yang diberikan kompor

$$Q_{in} = A_{kom} \cdot I_r \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :

- Q_{in} = Daya yang diberikan kompor (W)
- A_{kom} = Luas lensa kompor (m²)
- I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m²)

d. Efisiensi kompor

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

- η = Efisiensi kompor (%)
- Q_{out} = Daya yang diterima air (W)
- Q_{in} = Daya yang diberikan kompor (W)

3.6.2 Menentukan titik fokus kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel

Titik fokus kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_k}{n_u} - 1 \right) \times \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1,491}{1} - 1 \right) \times \left(\frac{1}{127,56} + \frac{1}{127,56} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1,491}{1} - 1 \right) \times \left(\frac{2}{127,56} \right)$$

$$\frac{1}{f} = 0,491 \times 0,0157$$

$$\frac{1}{f} = 0,0077$$

$$1 = 0,0077f$$

$$f = \frac{1}{0,0077}$$

$$f = 129,870 \text{ mm}$$

Dimana:

f = titik fokus lensa fresnel

n_k dan n_u = index bias dengan jenis bahan acrilyc dan index bias udara

R_1 dan R_2 = kelengkungan dari lensa cembung

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Kompor Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel

Kompor surya lensa fresnel merupakan sebuah kompor surya dengan desain pemusat titik fokus, dengan tujuan untuk meningkatkan suhu dari panas yang dihasilkan oleh matahari. Bagian-bagian kompor terdiri atas meja penyangga kompor surya, penyanggah lensa fresnel, dan lensa fresnel. Kompor surya yang dibuat dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil rancangan kompor tenaga surya dengan konsentrator lensa fresnel

Kompor surya terbuat dari lensa fresnel PMMA (*polymethyl methacrylate*), yang digunakan untuk memusatkan intensitas energi matahari pada kompor surya, sehingga diharapkan dapat memberikan nilai yang lebih baik dari segi efisiensi dan kenyamanan penggunaan dengan rancangan yang dapat memenuhi kebutuhan memasak rumah tangga dibandingkan dengan kompor surya yang sudah ada.

Spesifikasi dari kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat disajikan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat

Parameter	Nilai	Satuan
Tinggi meja	85	Cm
Lebar meja	70	Cm
Panjang meja	32	Cm
Luas lensa fresnel	29	Cm ²
Jarak titik fokus	12	Cm
Diameter panci	10	Cm
Konduktivitas panci (kaca)	0,8	W/m°C

4.2 Uji Unjuk Kerja Kompor Surya dengan Konsentrator Lensa Fresnel

Proses pengujian uji unjuk kerja kompor surya lensa fresnel menggunakan beberapa parameter pengujian yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu massa air 1 kg atau 1 liter air, panci digantikan dengan botol kaca yang telah dicat dengan warna hitam sebagai absorber agar penyerapan panas dari intensitas matahari yang dipancarkan dapat lebih maksimal.

Prinsip kerja kompor surya bekerja dengan cara memanfaatkan radiasi sinar matahari langsung menuju titik fokus kompor surya. Pancaran radiasi sinar matahari kemudian ditingkatkan panasnya sebelum diserap oleh absorber panci, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memasak air. Panas yang diserap oleh absorber sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima oleh kompor surya yang kemudian diteruskan menuju absorber.

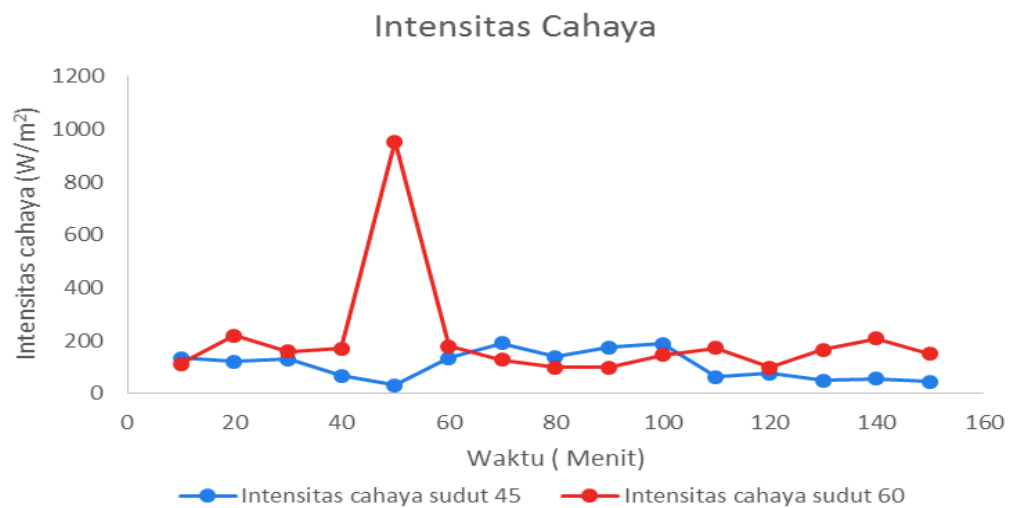
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja yang dapat dihasilkan dari kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel yang dibuat. Perhitungan dan penganalisaan kinerja dari kompor surya dapat diketahui melalui perhitungan efisiensi yang dihasilkan dengan dibandingkan oleh perhitungan nilai efisiensi secara rasio pada perhitungan subbab 4.1.

4.2.1 Pemilihan Nilai Sudut Tetap Lensa Fresnel

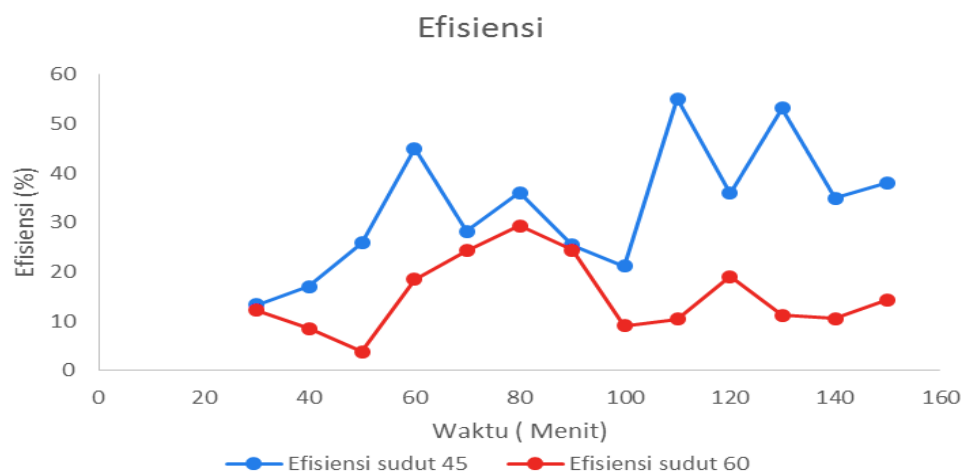
Pengujian dilakukan pada tanggal 12 sampai 17 Juni 2017 dimulai pada pukul 10.00-14.00 WIB. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui perubahan *temperature* yang terjadi pada kompor surya, diantaranya pada *temperature* panci, *temperature* air, radiasi matahari, massa awal air dan massa akhir air serta

temperature lingkungan dengan pencatatan data setiap interval 10 menit selama 300 menit.

Pengujian untuk mengetahui sudut tetap yang sesuai dengan desain kompor surya yang dibuat, didapat dengan menghitung beberapa parameter data suhu sampai dengan nilai efisiensi yang dihasilkan pada nilai intensitas radiasi matahari yang relatif sama yaitu berkisar pada $180\text{-}200\text{W/m}^2$. Perbandingan nilai *temperature* dan efisiensi lensa fresnel pada sudut 45° dan 60° pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik intensitas cahaya hasil perbandingan sudut 45° dan 60°



Gambar 4.2 Grafik efisiensi hasil perbandingan sudut 45° dengan 60°

Berdasarkan data yang dihasilkan pada gambar 4.2 dan 4.3 dapat dianalisa bahwa dengan nilai intensitas cahaya matahari yang relatif sama bahkan cenderung lebih besar pada saat pengujian sudut 60° , menghasilkan nilai efisiensi yang lebih baik pada sudut 45° . Hasil ini disebabkan karena pada saat penggunaan sudut 60° memiliki titik fokus yang cenderung berada pada area atas panci/botol, sedangkan pada saat menggunakan sudut 45° titik fokus yang dihasilkan memiliki letak fokus yang lebih terpusat pada area tengah botol/panci. Perbandingan penggunaan sudut 45° dengan 60° pada kompor surya dapat membantu peneliti dalam menentukan sudut yang baik untuk diterapkan dalam pelaksanaan pengambilan data. Gambar 4.3 menjelaskan bahwa kompor surya dengan menggunakan sudut 45° memiliki nilai efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan sudut 60° . Sehingga peneliti menggunakan sudut 45° untuk pengambilan data.

4.2.2 Nilai Efisiensi Kompor Surya Lensa Fresnel

Perhitungan nilai efisiensi lensa fresnel secara rata-rata menghasilkan data yang bervariasi setiap harinya. Berikut hasil rata-rata unjuk kerja lensa fresnel menggunakan sudut tetap 45° dengan beberapa data parameter lainnya.

Tabel 4.2 Tabel Unjuk kerja kompor surya sudut 45°

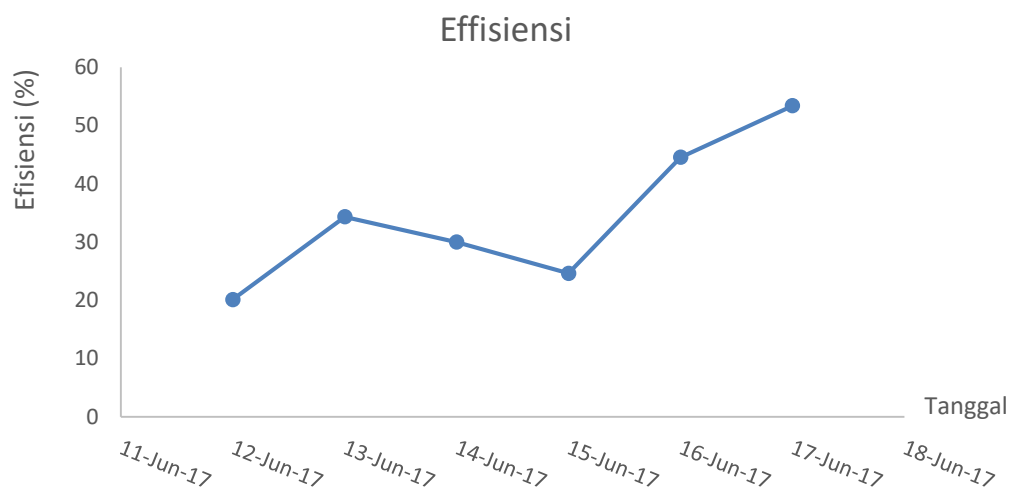
Tanggal	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	I _i	R _h	T _d	Q _{air}	Q _{fresnel}	Eff.
	°C	°C	°C	°C	W/m ²	%	°C	W	W	%
12-Jun-17	27,20	32,25	31,89	28,24	188,63	60,20	4,01	5,37	15,86	20,12
13-Jun-17	27,20	30,01	31,43	28,19	151,50	74,00	1,82	4,14	12,74	34,32
14-Jun-17	27,20	37,28	40,89	31,30	404,17	54,53	5,98	9,97	33,99	29,99
15-Jun-17	25,80	44,99	46,31	33,52	872,73	31,74	11,47	14,68	73,40	24,63
16-Jun-17	28,80	43,35	54,16	32,43	724,37	33,20	10,92	13,00	60,92	44,54
17-Jun-17	29,00	36,22	69,77	28,38	647,50	35,47	7,85	10,96	54,45	53,39
Rata-rata	27,53	37,35	45,74	30,34	498,15	48,19	7,01	9,86	41,89	34,50

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata efisiensi lensa fresnel pada nilai 34,50 %. Hasil ini menunjukkan hasil yang baik secara

perbandingan dengan nilai perhitungan efisiensi desain sebesar 52,9 %. Secara keseluruhan, jika dilihat berdasarkan capaian nilai efisiensi lensa fresnel maka didapatkan nilai terendah sebesar 20,12 % dan capaian nilai tertinggi sebesar 53,39 %. Capaian nilai efisiensi tersebut menunjukkan bahwa kinerja lensa fresnel yang dibuat telah mencapai hasil yang optimum dalam segi penggunaan lensa fresnel dengan sudut tetap.

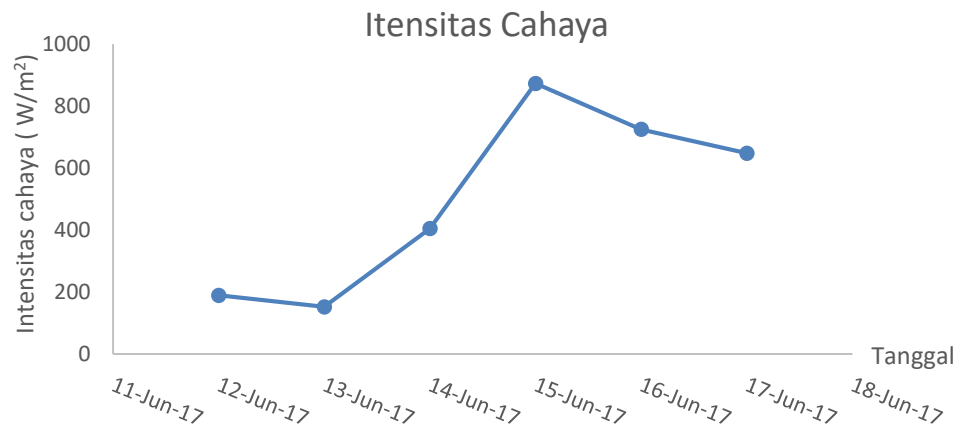
4.3 Faktor-Faktor Pengaruh Kinerja Lensa Fresnel

Berbagai variasi hasil nilai efisiensi lensa fresnel pada setiap harinya memiliki nilai efisiensi yang bervariasi. Variasi nilai ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.4 grafik efisiensi kompor surya.

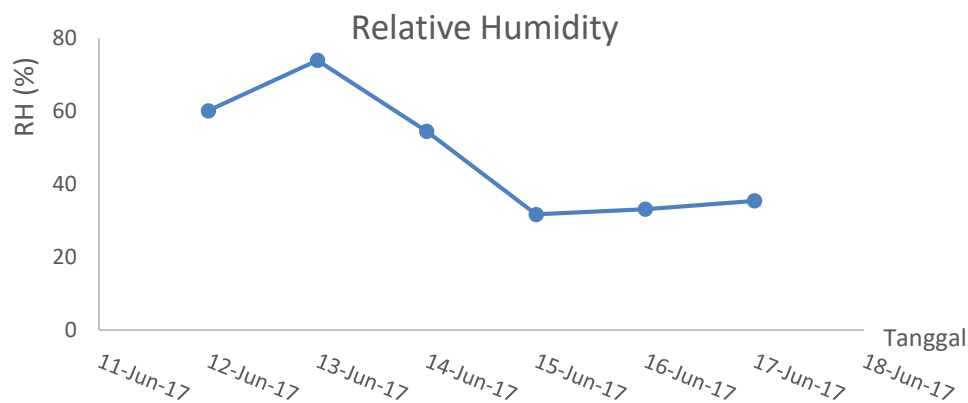


Gambar 4.4 Grafik efisiensi kompor surya pada sudut 45°

Perubahan nilai efisiensi kompor surya pada setiap harinya menunjukkan adanya faktor-faktor pengaruh dari peningkatan dan penurunan nilai efisiensi kompor surya. Faktor-faktor pengaruh kinerja ini dapat dianalisa dengan melihat parameter-parameter hasil pengumpulan data lainnya selama pengujian berlangsung, seperti semua suhu-suhu hasil pengukuran, intensitas cahaya matahari maupun kelembapan lingkungan sekitar pengujian juga mempengaruhi kinerja dari kompor surya.

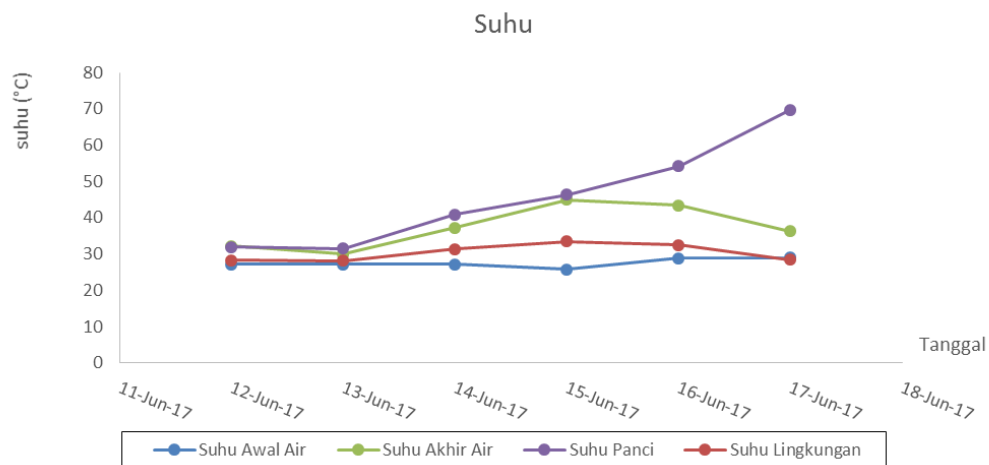


Gambar 4.5 Grafik pengamatan intensitas cahaya matahari pada sudut 45°



Gambar 4.6 Grafik pengamatan *relative humidity* pada sudut 45°

Peningkatan intensitas cahaya mempengaruhi nilai Rh atau kelembapan lingkungan sekitar pengujian. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari semakin rendah nilai kelembapan lingkungan sekitar daerah pengujian. Hal ini dikarenakan semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka semakin berkurangnya kandungan air dalam udara, sehingga nilai Rh cenderung turun ketika intensitas cahaya tinggi. Nilai Rh yang turun tersebut berbanding lurus dengan penurunan nilai efisiensi kompor surya, padahal udara sekitar pengujian semakin kering dan panas matahari semakin terik. Secara mudah dapat dianalogikan bahwa peningkatan intensitas cahaya tersebut akan juga meningkatkan hasil capaian pendidihan air yang dilihat dari hasil peningkatan suhu capaian air yang dipanasi melalui lensa fresnel.



Gambar 4.7 Grafik pengamatan suhu sudut 45° pada tanggal 12-17 Juni 2107

Penurunan efisiensi ketika kelembapan lingkungan semakin kering dan intensitas cahaya semakin tinggi ini dapat terjadi karena peningkatan intensitas cahaya matahari pada saat pengujian berlangsung memiliki nilai regresi peningkatan yang tidak sebanding dengan regresi peningkatan suhu-suhu pada parameter pengujian. Berdasarkan gambar 4.6 dan 4.7 terjadi pola peningkatan intensitas cahaya matahari dan suhu pada panci dan kompor, namun peningkatan regresi kemiringan grafik intensitas cahaya matahari tidak sama dengan regresi kemiringan grafik peningkatan suhu pada panci yang berpengaruh pada suhu akhir air.

Faktor penyebab nilai peningkatan suhu yang tidak sebanding dengan peningkatan intensitas cahaya matahari ini dapat disebabkan karena sistem pengujian lensa fresnel yang menggunakan sistem operasi kompor surya sudut tetap, sedangkan pergerakan matahari terus berlangsung. Sehingga penangkapan cahaya matahari dan pemusatan cahaya matahari pada objek kerja kurang maksimal. Hal inilah yang menjadi penyebab dasar adanya penurunan nilai efisiensi kompor surya disaat intensitas cahaya matahari meningkat dan penggunaan panci khusus untuk proses pemasakan dengan kompor surya sehingga dapat meningkatkan efisiensi komor surya. Mendasari hal tersebut, maka diperlukan kajian lebih lanjut untuk mendapatkan efisiensi kompor yang lebih baik.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Desain kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel terdiri dari penyanggah lensa fresnel dan meja penyanggah bahan masakan yang terbuat dari kayu, dan lensa fresnel dengan luas 0,0841 meter².
2. Temperatur rata-rata air yang dapat dicapai oleh kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel sebesar 37,35 °C. Berdasarkan data pengujian didapatkan nilai efisiensi dan rata-rata daya masak kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel. Nilai efisiensi rata-rata kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel sebesar 34,50 % , nilai tersebut menunjukkan hasil yang cukup baik karena mendekati nilai perhitungan efisiensi desain 52,9 %, dan berdasarkan capaian nilai efisiensi didapatkan nilai terendah 20,12 % dan nilai tertinggi sebesar 53,39%.
3. Faktor faktor yang mempengaruhi kinerja kompor surya dengan konsentrator lensa fresnel adalah kelembapan udara, suhu lingkungan, dan intensitas radiasi matahari

5.1 Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan diatas dapat disarankan untuk kegiatan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlunya pengkajian lebih lanjut dengan menggunakan sistem penggerak otomatis berbasis *solar tracker* sehingga dapat menangkap energi matahari dan memfokuskannya lebih maksimal.
2. Perlunya penggunaan lensa fresnel yang lebih besar agar mendapat titik fokus yang lebih besar sehingga daya masak kompor lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrori, 2015. *Konsentrator Lensa Fresnel : Kajian Pemanfaatan Energi Panas Matahari untuk Aplikasi Kompor Surya*. Jurnal Teknologi. Vol. 6. Nomor 1, 2015: 2085-2347. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bailis, Rob, *et all*. 2007. *The Water Boiling Test (WBT). Household Energy and Health Programme, Shell Foundation*. USA.
- Duffie, J.A. and Beckman W.A. 1991: *Solar Engineering of thermal processes 2nd*, Singapore, John Wiley & Sons. Inc.
- Ferriere, A, *et all*. 2004 Flux distribution delivered by a fresnel lens used for concentrating solar energy, *Journal of Solar Energy Engineering*, 126, 1, 654-660, ISSN 0199-6231.
- Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer*. Tenth Edition. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kalogirou, Soteris A. 2004: *Solar Thermal Collectors and Applications*, Progress in Energy and Combustion Science 30, 231–295, Elsevier.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), 2010: *Indonesia Energy Outlook 2010*, Jakarta.
- Kimambo, C. Z. M., 2007: *Development and performance testing of solar cookers*, Southern Africa, Journal of Energy, Vol 18 No 3, August 2007.
- Menghani, P.D, Udawant, R.R, Funde, A.A, dan Dingare, S.V. 2012 : *Low Pressure Steam Generation by Solar Energy With Fresnel Lens: A Review*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), ISSN: 2278-1684, PP: 60-63. www.iosrjournals.org
- Marwani, 2011: *Potensi Penggunaan Kompor Energi Surya Untuk Kebutuhan Rumah Tangga*. ISBN : 979-587-395-4. Palembang. Universitas Sriwijaya.
- Salim. P. 2014: *intervensi ergonomi terhadap kenyamanan berkerja didapur rumah tinggal*. Humoniora. Vol 5. No 1, April 2014: 238-245. Jakarta Barat: Binus University.
- Sen, Z., 2008: *Solar energy fundamentals and modeling techniques : atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. British Library Cataloguing in Publication Data, London, Springer-Verlag .

Stine, W.B. dan Geyer, M. 2001: *Power from the Sun*.
<http://www.powerfromthesun.net/book.html>

Wulandari. Y. dan Syamsuri. 2014: *Studi performansi dari kompor gas berbahan bahan bakar air dengan reaksi dari alumunium dan sodium hidroksida. Jurnal Teknologi*. ISBN : 978-602-98569-1-0. Surabaya. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.

Lampiran 1. Data hasil pengamatan

Tanggal	Waktu	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	I _i	Rh	Pi	Ps	Td	T ₂ -T ₁	Q _{air}	Q _{fresnel}	Ef.
	Menit	°C	°C	°C	°C	W/m ²	%	W	W	°C	°C	W	W	%
12/07/2017	10	27,2	28,6	39,5	26	25,9	64	9,77	263,98	2,6	10,9	9,77	2,18	
	20	27,2	30,5	31,1	27	165	64	11,51	48,84	3,5	0,6	13,26	13,88	
	30	27,2	30,2	30,8	27,9	166	65	6,98	29,42	2,3	0,6		13,96	
	40	27,2	30,2	30,8	27,8	165	68	5,23	22,20	2,4	0,6		13,88	
	50	27,2	30,5	31,5	28,8	203	63	4,60	15,88	1,7	1,0	2,09	17,07	12,26
	60	27,2	30,9	31,3	28	180	66	4,30	16,73	2,9	0,4	2,79	15,14	18,43
	70	27,2	30,9	31,3	28,6	219	64	3,69	11,79	2,3	0,4		18,42	
	80	27,2	32	33,6	29,2	232	50	4,19	12,63	2,8	1,6	7,67	19,51	39,33
	90	27,2	33,3	35,1	32,2	460	39	4,73	7,20	1,1	1,8	9,07	38,69	23,44
	100	27,2	34,1	37,2	35,9	950	31	4,81	3,55	-1,8	3,1	5,58	79,90	6,99
	110	27,2	36	37,3	31,2	230	42	5,58	16,99	4,8	1,3	13,26	19,34	68,53
	120	27,2	36,3	37,9	30,7	403	44	5,29	9,19	5,6	1,6	2,09	33,89	6,18
	130	27,2	36,1	36,1	29,2	188	50	4,78	17,78	6,9	0,0		15,81	
	140	27,2	34,3	30,1	29,9	288	51	3,54	8,60	4,4	-4,2		24,22	
	150	27,2	33,9	33,3	27,9	191	54	3,12	11,42	6,0	-0,6		16,06	
	160	27,2	33,9	34,7	27,9	134	55	2,92	15,26	6,0	0,8		11,27	
	170	27,2	33,3	33,4	27	120	58	2,50	14,60	6,3	0,1		10,09	
	180	27,2	33,4	33	27,9	129	62	2,40	13,04	5,5	-0,4	0,70	10,85	6,43
	190	27,2	32,7	31,3	27,1	67	66	2,02	21,10	5,6	-1,4		5,63	
	200	27,2	32,2	30	26,9	32	69	1,74	38,15	5,3	-2,2		2,69	
	210	27,2	31,6	31	26,4	135	70	1,46	7,58	5,2	-0,6		11,35	
	220	27,2	31,7	32,9	27,1	189	67	1,43	5,29	4,6	1,2	0,70	15,89	4,39
	230	27,2	32	32,4	27,4	138	65	1,46	7,39	4,6	0,4	2,09	11,61	18,03
	240	27,2	32	32,8	27,2	174	66	1,40	5,61	4,8	0,8		14,63	
	250	27,2	32	33,2	27,6	188	65	1,34	4,99	4,4	1,2		15,81	
	260	27,2	31,8	31,3	27,3	63	67	1,23	13,71	4,5	-0,5		5,30	
	270	27,2	31,1	31,2	27	75	70	1,01	9,41	4,1	0,1		6,31	
	280	27,2	31,2	31	27	48	72	1,00	14,53	4,2	-0,2	0,70	4,04	17,28
	290	27,2	30,5	30,8	26	56	69	0,79	9,92	4,5	0,3		4,71	
	300	27,2	30,3	30,7	27,1	45	70	0,72	11,21	3,2	0,4		3,78	
13/07/2017	10	27,2	27,7	27,6	26,7	77	87	3,49	31,71	1,0	-0,1	3,49	6,48	
	20	27,2	27,7	27,8	27	109	87	1,74	11,20	0,7	0,1		9,17	
	30	27,2	27,8	29,1	27,4	190	82	1,40	5,14	0,4	1,3	0,70	15,98	4,37
	40	27,2	28	29,1	27,3	152	79	1,40	6,43	0,7	1,1	1,40	12,78	10,92
	50	27,2	28,6	29,9	27,9	196	77	1,95	6,98	0,7	1,3	4,19	16,48	25,39
	60	27,2	29,1	29,8	27,8	98	76	2,21	15,78	1,3	0,7	3,49	8,24	42,32
	70	27,2	28,8	29,3	27,6	110	77	1,59	10,15	1,2	0,5		9,25	
	80	27,2	28,8	28,8	27	101	79	1,40	9,67	1,8	0,0		8,49	
	90	27,2	28,7	32,5	27,6	263	77	1,16	3,09	1,1	3,8		22,12	
	100	27,2	30,4	32,2	29,4	134	70	2,23	11,66	1,0	1,8	11,86	11,27	105,24
	110	27,2	30,1	35,3	29,2	227	69	1,84	5,67	0,9	5,2		19,09	
	120	27,2	30,1	31,2	27,8	77	72	1,69	15,33	2,3	1,1		6,48	
	130	27,2	30	31,2	28,5	104	79	1,50	10,11	1,5	1,2		8,75	
	140	27,2	30,2	33	27,2	227	77	1,50	4,61	3,0	2,8	1,40	19,09	7,31
	150	27,2	30,3	30,7	28,3	73	79	1,44	13,83	2,0	0,4	0,70	6,14	11,36
	160	27,2	30,3	32,1	28,7	104	79	1,35	9,10	1,6	1,8		8,75	
	170	27,2	30,3	32,3	29,2	73	75	1,27	12,20	1,1	2,0		6,14	
	180	27,2	30,6	34,3	29,2	178	72	1,32	5,18	1,4	3,7	2,09	14,97	13,98
	190	27,2	31,5	34,3	29,4	229	70	1,58	4,83	2,1	2,8	6,28	19,26	32,60
	200	27,2	32,4	34,2	29,5	301	66	1,81	4,22	2,9	1,8	6,28	25,31	24,80
	210	27,2	32,3	33,9	28,5	163	66	1,69	7,28	3,8	1,6		13,71	
	220	27,2	32,4	33	29,5	152	67	1,65	7,59	2,9	0,6	0,70	12,78	5,46
	230	27,2	31,9	32,1	28,6	75	75	1,43	13,31	3,3	0,2		6,31	
	240	27,2	31,5	31,6	27,5	142	75	1,25	6,16	4,0	0,1		11,94	
	250	27,2	30,9	31,8	27,9	526	72	1,03	1,37	3,0	0,9		44,24	
	260	27,2	28,6	31,6	28,5	65	64	0,38	4,05	0,1	3,0		5,47	
	270	27,2	30,5	31,1	28	105	62	0,85	5,68	2,5	0,6	13,26	8,83	150,11
	280	27,2	30,2	30,8	27,9	43	72	0,75	12,17	2,3	0,6		3,62	
	290	27,2	30,2	30,8	27,8	48	70	0,72	10,53	2,4	0,6		4,04	
	300	27,2	30,5	31,5	28,8	203	68	0,77	2,65	1,7	1,0	2,09	17,07	12,26

NB. Data kosong pada kolom diakibatkan oleh nilai dari hasil perhitungan adalah 0 atau minus.

Tanggal	Waktu	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	I _i	Rh	Pi	Ps	Td	T ₂ -T ₁	Q _{air}	Q _{fresnel}	Ef.
	Menit	°C	°C	°C	°C	W/m ²	%	W	W	°C	°C	W	W	%
14/07/2017	10	27,2	30	30,6	28,3	203	71	19,53	67,36	1,7	0,6	19,53	17,07	
	20	27,2	29,6	34,1	32,9	661	67	8,37	8,87	-3,3	4,5		55,59	
	30	27,2	32	38,4	36	993	57	11,16	7,87	-4,0	6,4	16,74	83,51	20,05
	40	27,2	35,4	46,3	35,2	886	52	14,30	11,30	0,2	10,9	23,72	74,51	31,83
	50	27,2	37,1	61	37,3	990	50	13,81	9,77	-0,2	23,9	11,86	83,26	14,25
	60	27,2	38,3	42,8	31,1	288	49	12,91	31,37	7,2	4,5	8,37	24,22	34,57
	70	27,2	38,1	41,5	29,9	175	56	10,86	43,45	8,2	3,4		14,72	
	80	27,2	37,5	39,5	30,5	183	61	8,98	34,36	7,0	2,0		15,39	
	90	27,2	37,6	47,4	38,4	831	51	8,06	6,79	-0,8	9,8	0,70	69,89	1,00
	100	27,2	38,4	41,4	30,1	238	52	7,81	22,98	8,3	3,0	5,58	20,02	27,88
	110	27,2	36,2	41,8	26,6	943	49	5,71	4,24	9,6	5,6		79,31	
	120	27,2	41,2	41,5	31,3	246	49	8,14	23,16	9,9	0,3	34,88	20,69	168,61
	130	27,2	40,4	42,8	31,5	220	49	7,08	22,54	8,9	2,4		18,50	
	140	27,2	39,3	45,5	32,6	912	51	6,03	4,63	6,7	6,2		76,70	
	150	27,2	40	41,3	30,6	190	51	5,95	21,93	9,4	1,3	4,88	15,98	30,56
	160	27,2	39,7	41,6	30,1	164	56	5,45	23,26	9,6	1,9		13,79	
	170	27,2	38,7	39,2	29,4	173	56	4,72	19,10	9,3	0,5		14,55	
	180	27,2	37,7	38	30,3	169	56	4,07	16,86	7,4	0,3		14,21	
	190	27,2	37,3	39,1	29,9	194	58	3,71	13,38	7,4	1,8		16,32	
	200	27,2	37,4	38	29,9	134	56	3,56	18,59	7,5	0,6	0,70	11,27	6,19
	210	27,2	37,1	38	30,1	138	60	3,29	16,68	7,0	0,9		11,61	
	220	27,2	37	37,1	31,9	121	55	3,11	17,98	5,1	0,1		10,18	
	230	27,2	37,1	40,7	34,8	861	46	3,00	2,44	2,3	3,6	0,70	72,41	0,96
	240	27,2	37,8	41	33	794	41	3,08	2,72	4,8	3,2	4,88	66,78	7,31
	250	27,2	38,4	40,4	32,6	332	46	3,13	6,59	5,8	2,0	4,19	27,92	14,99
	260	27,2	38,1	41,7	30,7	843	51	2,92	2,43	7,4	3,6		70,90	
	270	27,2	38,5	40,1	30,2	105	55	2,92	19,47	8,3	1,6	2,79	8,83	31,60
	280	27,2	38,2	39,6	28,9	43	56	2,74	44,62	9,3	1,4		3,62	
	290	27,2	37,2	38,4	29	48	64	2,41	35,08	8,2	1,2		4,04	
	300	27,2	37,1	38	26	47	65	2,30	34,29	11,1	0,9		3,95	
15/07/2017	10	25,8	34,9	39,7	27,7	937	48	63,49	47,43	7,2	4,8	63,49	78,80	
	20	25,8	36,8	39	28,8	142	48	38,37	189,16	8,0	2,2	13,26	11,94	
	30	25,8	37,5	40,3	31,1	900	45	27,21	21,16	6,4	2,8	4,88	75,69	6,45
	40	25,8	38,6	45,4	31,7	891	45	22,33	17,54	6,9	6,8	7,67	74,93	10,24
	50	25,8	38,3	46,5	33,1	978	43	17,44	12,48	5,2	8,2		82,25	
	60	25,8	38,9	48,1	35,2	920	44	15,23	11,59	3,7	9,2	4,19	77,37	5,41
	70	25,8	39,1	46,4	33,3	180	42	13,26	51,55	5,8	7,3	1,40	15,14	9,22
	80	25,8	39,6	46,6	35,7	946	42	12,03	8,91	3,9	7,0	3,49	79,56	4,38
	90	25,8	39,4	45,7	32,2	948	44	10,54	7,78	7,2	6,3		79,73	
	100	25,8	40,4	44,7	32,8	1012	39	10,19	7,05	7,6	4,3	6,98	85,11	8,20
	110	25,8	39,6	46,7	34,3	965	34	8,75	6,35	5,3	7,1		81,16	
	120	25,8	40	45,8	34,4	928	34	8,26	6,23	5,6	5,8	2,79	78,04	3,58
	130	25,8	41,1	44,4	32,7	950	32	8,21	6,05	8,4	3,3	7,67	79,90	9,61
	140	25,8	44,4	46,1	33,7	948	33	9,27	6,84	10,7	1,7	23,02	79,73	28,88
	150	25,8	48,6	46,1	36,2	948	34	10,60	7,83	12,4	-2,5	29,30	79,73	36,75
	160	25,8	51,8	50,9	34,6	128	30	11,34	62,00	17,2	-0,9	22,33	10,76	207,39
	170	25,8	47,4	46,9	34,4	976	27	8,86	6,36	13,0	-0,5		82,08	
	180	25,8	48,7	48,3	35,1	993	25	8,88	6,26	13,6	-0,4	9,07	83,51	10,86
	190	25,8	50,3	49,9	36,3	1004	22	9,00	6,27	14,0	-0,4	11,16	84,44	13,22
	200	25,8	52,2	50,9	0,532	988	22	9,21	6,52	51,7	-1,3	13,26	83,09	15,95
	210	25,8	54,7	51,8	38,1	950	22	9,60	7,07	16,6	-2,9	17,44	79,90	21,83
	220	25,8	56,5	54,9	41,3	927	24	9,74	7,35	15,2	-1,6	12,56	77,96	16,11
	230	25,8	56,6	53,8	37,8	895	27	9,34	7,31	18,8	-2,8	0,70	75,27	0,93
	240	25,8	54,1	52	36,8	903	25	8,23	6,38	17,3	-2,1		75,94	
	250	25,8	54,8	50,5	37,1	1003	22	8,09	5,65	17,7	-4,3	4,88	84,35	5,79
	260	25,8	49,4	38,8	37,8	969	22	6,33	4,57	11,6	-10,6		81,49	
	270	25,8	57,6	48,8	38,9	971	24	8,22	5,92	18,7	-8,8	57,21	81,66	70,06
	280	25,8	55,5	49,9	37,2	987	21	7,40	5,25	18,3	-5,6		83,01	
	290	25,8	56,4	53,1	37	965	19	7,36	5,34	19,4	-3,3	6,28	81,16	7,74
	300	25,8	54,2	52,4	35,3	930	19	6,60	4,97	18,9	-1,8		78,21	

NB. Data kosong pada kolom diakibatkan oleh nilai dari hasil perhitungan adalah 0 atau minus.

Tanggal	Waktu	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	li	Rh	Pi	Ps	Td	T ₂ -T ₁	Qair	Qfresnel	Ef.
	Menit	°C	°C	°C	°C	W/m ²	%	W	W	°C	°C	W	W	%
16/07/2017	10	28,8	32,4	40,1	35,9	875	36	25,12	20,09	-3,5	7,7	25,12	73,59	
	20	28,8	33,5	43,1	41,7	767	36	16,40	14,96	-8,2	9,6	7,67	64,50	
	30	28,8	35,7	43,5	32,7	885	37	16,05	12,69	3,0	7,8	15,35	74,43	20,62
	40	28,8	37,7	45,4	32,4	845	36	15,52	12,86	5,3	7,7	13,95	71,06	19,63
	50	28,8	39,5	46,9	33,4	902	37	14,93	11,59	6,1	7,4	12,56	75,86	16,55
	60	28,8	40,4	45,7	33	896	37	13,49	10,54	7,4	5,3	6,28	75,35	8,33
	70	28,8	40,2	45,9	31,7	861	37	11,36	9,24	8,5	5,7		72,41	
	80	28,8	40,5	46,2	34,7	1015	36	10,20	7,04	5,8	5,7	2,09	85,36	2,45
	90	28,8	40,4	43,2	31,1	961	36	8,99	6,55	9,3	2,8		80,82	
	100	28,8	42	45,9	33,2	1126	32	9,21	5,73	8,8	3,9	11,16	94,70	11,79
	110	28,8	44,1	46,6	34	927	34	9,70	7,33	10,1	2,5	14,65	77,96	18,79
	120	28,8	45,1	44,2	31,3	731	32	9,48	9,07	13,8	-0,9	6,98	61,48	11,35
	130	28,8	46,7	43,1	32	655	35	9,61	10,27	14,7	-3,6	11,16	55,09	20,26
	140	28,8	46,3	44,1	30,8	739	34	8,72	8,26	15,5	-2,2		62,15	
	150	28,8	47,6	43,6	30,7	307	34	8,74	19,94	16,9	-4,0	9,07	25,82	35,13
	160	28,8	45,1	42,2	30,7	280	36	7,11	17,77	14,4	-2,9		23,55	
	170	28,8	44,1	38,8	30,7	943	35	6,28	4,66	13,4	-5,3		79,31	
	180	28,8	44,2	38,1	28	930	36	5,97	4,49	16,2	-6,1	0,70	78,21	0,89
	190	28,8	43	38,1	30,7	1115	36	5,21	3,27	12,3	-4,9		93,77	
	200	28,8	43,7	41,7	33,3	1015	35	5,20	3,58	10,4	-2,0	4,88	85,36	5,72
	210	28,8	42,1	27	24,7	249	32	4,42	12,42	17,4	-15,1		20,94	
	220	28,8	46,6	40,1	29,8	367	31	5,64	10,77	16,8	-6,5	31,40	30,86	101,72
	230	28,8	46,4	45,6	34	1156	26	5,34	3,23	12,4	-0,8		97,22	
	240	28,8	49,8	45,5	32,6	195	30	6,10	21,91	17,2	-4,3	23,72	16,40	144,64
	250	28,8	46,6	45,8	33,1	1004	32	4,97	3,46	13,5	-0,8		84,44	
	260	28,8	46,5	46,5	32,6	350	31	4,75	9,50	13,9	0,0		29,44	
	270	28,8	47,8	34,5	33,2	253	25	4,91	13,58	14,6	-13,3	9,07	21,28	42,63
	280	28,8	47,9	32,2	31,2	256	32	4,76	13,01	16,7	-15,7	0,70	21,53	3,24
	290	28,8	44,4	37	36,3	962	22	3,75	2,73	8,1	-7,4		80,90	
	300	28,8	50,2	43,3	33,5	164	28	4,98	21,24	16,7	-6,9	40,46	13,79	293,38
17/07/2017	10	29	29,8	31,4	31,2	838	40	5,58	4,66	-1,4	1,6	5,58	70,48	
	20	29	30,1	31,7	27,7	903	40	3,84	2,97	2,4	1,6	2,09	75,94	
	30	29	30,5	32,8	27,7	547	40	3,49	4,46	2,8	2,3	2,79	46,00	6,07
	40	29	29,9	33,9	30,4	907	39	1,57	1,21	-0,5	4,0		76,28	
	50	29	28,3	32,3	25,7	870	37	-0,98	-0,79	2,6	4,0		73,17	
	60	29	28,1	32,4	24,9	939	37	-1,05	-0,78	3,2	4,3		78,97	
	70	29	29,7	35,1	23,6	974	37	0,70	0,50	6,1	5,4	11,16	81,91	13,63
	80	29	31,3	38,5	24,8	514	37	2,01	2,73	6,5	7,2	11,16	43,23	25,82
	90	29	33,6	41,7	25,8	1019	32	3,57	2,45	7,8	8,1	16,05	85,70	18,72
	100	29	34,7	43,6	28,4	259	35	3,98	10,75	6,3	8,9	7,67	21,78	35,23
	110	29	35,1	45,8	31,4	1001	36	3,87	2,71	3,7	10,7	2,79	84,18	3,31
	120	29	35,8	45,8	31,8	1060	34	3,95	2,61	4,0	10,0	4,88	89,15	5,48
	130	29	35,8	44,5	30,2	1105	36	3,65	2,31	5,6	8,7		92,93	
	140	29	33,4	42,5	29,7	1052	35	2,19	1,46	3,7	9,1		88,47	
	150	29	35,1	44,3	30,2	385	32	2,84	5,16	4,9	9,2	11,86	32,38	36,63
	160	29	37	44,3	29,7	1082	32	3,49	2,26	7,3	7,3	13,26	91,00	14,57
	170	29	39,7	45,3	27,4	289	33	4,39	10,64	12,3	5,6	18,84	24,30	77,50
	180	29	37,3	41,3	27,8	927	35	3,22	2,43	9,5	4,0		77,96	
	190	29	38,2	41	24,8	1036	32	3,38	2,28	13,4	2,8	6,28	87,13	7,21
	200	29	39,1	45	27,5	1128	33	3,52	2,19	11,6	5,9	6,28	94,86	6,62
	210	29	40,8	48,3	27,5	496	29	3,92	5,53	13,3	7,5	11,86	41,71	28,43
	220	29	41,2	63,4	29,6	397	27	3,87	6,82	11,6	22,2	2,79	33,39	8,36
	230	29	40,7	52,6	29,6	290	33	3,55	8,57	11,1	11,9		24,39	
	240	29	39,4	55	27	550	36	3,02	3,85	12,4	15,6		46,26	
	250	29	46,7	42	30	118	35	4,94	29,30	16,7	-4,7	50,93	9,92	513,21
	260	29	42,2	40,6	29,6	173	37	3,54	14,33	12,6	-1,6		14,55	
	270	29	41,5	40,2	29,5	239	39	3,23	9,46	12,0	-1,3		20,10	
	280	29	40,9	39,1	29,2	158	39	2,97	13,14	11,7	-1,8		13,29	
	290	29	40,6	38,4	29,4	104	42	2,79	18,78	11,2	-2,2		8,75	
	300	29	40,2	37,8	29,2	65	35	2,60	28,05	11,0	-2,4		5,47	

NB. Data kosong pada kolom diakibatkan oleh nilai dari hasil perhitungan adalah 0 atau minus.

Lampiran 2. Foto Publikasi Kegiatan Penelitian

