

**PENGEMBANGAN RANCANG BANGUN ALAT PEMBANGKIT UAP
ENERGI SURYA**



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma tiga (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

WAHYUDDIN
AFAHRI RAHMADANI

342 17 027
342 17 036

PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya" oleh Wahyuddin NIM 34217027 dan Afahri Rahmadani NIM 34217036 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar diploma tiga pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

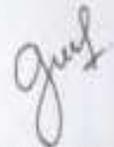
Makassar, September 2020

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II,


Abdul Rahman, S.T., M.T.
NIP. 19730803 200604 1 001


Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd
NIP. 19830809 200912 2 005

Mengetahui,

Ketua Program Studi D3 Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin



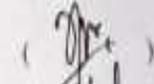
Sri Suwasti, S.ST., M.T.
NIP.1974123 200112 2 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari *Rabu* tanggal *17 Maret*... 2021, Tim Penguji Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa : Wahyuddin . NIM 342 17 027 dan Afahri Rahmadani NIM 342 17 036 dengan judul "Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya "

Makassar, Maret 2021

Tim Penguji Ujian Laporan Tugas Akhir :

- | | | |
|------------------------------------|---------------|---|
| 1. Dr. Jamal, S.T., M.T. | Ketua | () |
| 2. Yiyin Klistafani S.T., M.T. | Sekretaris | () |
| 3. Ir. La Ode Musa., M.T. | Anggota I | () |
| 4. Ir. Suryanto, M.Sc.Ph.D. | Anggota II | () |
| 5. Abdul Rahman, S.T., M.T | Pembimbing I | () |
| 6. Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya”** dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami, namun berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan ini dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T, Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T., Selaku Koordinator Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Abdul Rahman, S.T.,M.T. sebagai Pembimbing I yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

6. Ibu Gusri Emiyati Ali, S.Pd.,M.Pd. sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Para dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penyempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
8. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Dosen pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi.
9. Seluruh staf pengajar dan instruktur pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
10. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman seperjuangan pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi angkatan 2017 yang telah membantu dan member dukungannya.
11. Seluruh pihak-pihak yang telah membantu terselesainya Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya konstruktif demi kesempurnaan Laporan kami. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha dan kerja keras kitasemua. Aamiin

Makassar, 30 September 2020

penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
SURAT PERNYATAAN	xiv
RINGKASAN	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan	3
1.4.1 Tujuan Kegiatan	3
1.4.2 Manfaat Kegiatan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Tenaga Panas Surya (STPS)	5
2.1.1 Jenis-jenis Sistem Tenaga Panas Surya	6
2.2 Ketel Uap (Boiler)	10
2.3 Perpindahan Panas dengan Radiasi	11
2.3.1 Radiasi Termal	11
2.3.2 Radiasi Benda Hitam	13
2.3.3 Faktor Bentuk Radiasi	13
2.4 Cermin Datar	14
2.4.1 Pemantulan Cahaya	15
2.5 Turbin Uap	16

2.5.1 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	16
2.5.2 Jenis-jenis Turbin Uap Berdasarkan Prinsip Kerjanya	17
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan	18
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Prosedur Kerja	22
3.3.1 Tahap Perancangan	22
3.4 Perancangan Mini Boiler dan Boiler Drum	24
3.5 Perancangan Instalasi Pipa	25
3.6 Perancangan Rangka Cermin.....	26
3.6.1 Tahap Pengembangan	27
3.6.2 Tahap Perakitan	27
3.7 Teknik Pengambilan Data.....	28
3.8 Teknik Analisis Data	29
BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN	
4.1 Hasil Perancangan	32
4.1.1 Hasil Perancangan Rangka Dasar	32
4.1.2 Hasil Perancangan Boiler dan Boiler Drum.....	33
4.1.3 Hasil Perancangan Instalasi Pipa	34
4.1.4 Hasil Perancangan Rangka Cermin.....	35
4.1.5 Hasil Pengujian	36
4.2 Hasil Pengujian.....	36
4.2.1 Perhitungan Data.....	46
4.3 Deskripsi Hasil Kegiatan	53
4.3.1 Penggunaan Cermin Sebagai Reflektor	53
4.3.2 Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung Belum diisi Air.....	54
4.3.3 Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung diisi Air	55
4.3.4 Perubahan Radiasi pada Setiap Cermin	57
4.3.5 Perbandingan Radiasi Permukaan Cermin Tertinggi pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan pada Tanggal 29 Agustus 2020	57
4.3.5.1 Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat.....	58

4.3.5.2 Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Dalam pada Alat	59
4.3.6 Perbandingan Radiasi Permukaan Cermin Terendah pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan pada Tanggal 29 Agustus 2020	59
4.3.6.1 Perbandingan Radiasi Cermin Terendah pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat.....	59
4.3.6.2 Perbandingan Radiasi Cermin Terendah pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Dalam pada Alat	61
4.3.7 Perbandingan Suhu dan Tekanan pada Alat Tahun 2019 dan Tahun 2020	61
4.3.7.1 Perbandingan Suhu pada Alat	61
4.3.7.2 Perbandingan Tekanan pada Alat.....	62
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	69



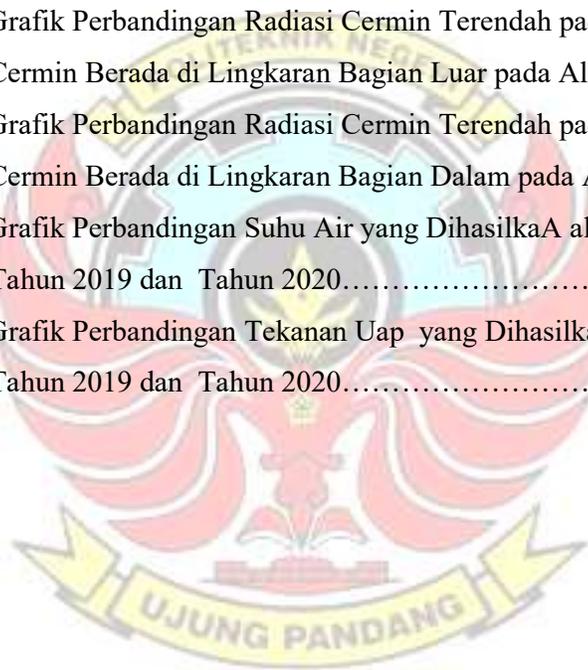
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Hasil pengujian Kondensasi Uap Keluaran Boiler.....	11
Tabel 2.2 Nilai Konduktivitas <i>Thermal</i> Beberapa Bahan.....	12
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan	18
Tabel 3.2 Perbandingan Alat yang Akan Digunakan dalam Proses Pembuatan Alat20
Tabel 3.3 Perbandingan Bahan-Bahan yang Digunakan dalam Proses Pembuatan Alat.....	.21
Tabel 3.4 Parameter-parameter yang akan diukur dalam pengujian alat.....	28
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Nilai Emisivitas Cermin dengan Cermin dalam keadaan kotor dan bersih.....	41
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Boiler Tanpa di Isi Air dengan alat ukur piranometer dengan 6 titik uji coba.....	42
Tabel 4.3 Pengujian Boiler Tanpa di Isi Air yaitu Mengukur Pemanasan Tabung dengan Alat Ukur Pico Teknologi pada 3 Titik.....	43
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Boiler dengan diisi Air.....	43
Tabel 4.5 Data Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin.....	43
Tabel 4.5.1 Data Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin tanggal 20 Agustus 2020.....	43
Tabel 4.5.2 Data Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin tanggal 20 Agustus 2020.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Umum Pembangkit Listrik Tenaga Panas Surya.....	5
Gambar 2.2 Pembangkit Listrik Sistem Pemusatan Linear.....	7
Gambar 2.3 Pembangkit Sitem Menara Surya.....	8
Gambar 2.4 Pembangkit Sistem Kolektor Palung Parabola.....	9
Gambar 2.5 Pemantulan Cermin Datar.....	14
Gambar 2.6 Pemantulan Cahaya pada Bidang Datar.....	15
Gambar 2.7 Prinsip Kerja Turbin Uap.....	16
Gambar 2.8 Irisan Memanjang Turbin Uap Satu Silinder.....	17
Gambar 3.1 Desain Pengebangan Alat Pembangkit Uap Energi Surya.....	23
Gambar 3.2 Perbandingan Alat Pembangkit Uap Energi Surya Sebelum dan Desain Alat Setelah Dikembangkan.....	23
Gambar 3.3 Desain Rangka Dasar.....	24
Gambar 3.4 <i>Boiler</i> dan <i>Steam Drum</i>	25
Gambar 3.5 Desain Instalasi Pipa.....	25
Gambar 3.6 Rangka Dasar Cermin.....	26
Gambar 3.8 pengujian tabung dalam keadaan (a) tanpa beban, (b) berbeban.....	28
Gambar 3.9 Diagram Alir Kegiatan.....	31
Gambar 4.1 Hasil Rancang Dasar Alat Pembangkit Uap Energi Surya yang Telah di Pasangi Cermin.....	33
Gambar 4.2 (a) Hasil Rancang Boiler Drum dan Boiler, (b) Hasil Rancang Boiler Drum dan Boiler dengan Alat Ukur yang Terpasang.....	35
Gambar 4.3 Hasil Rancangan Instalasi Pipa Beserta Bagian- bagiannya.....	36
Gambar 4.4 Hasil Rancangan Rangka Cermin dan Cermin.....	37
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Emisivitas Cermin dan Nilai Radiasi Tabung untuk Setiap Peubahan Waktu.....	53
Gambar 4.6 Grafik Nilai Besar Perubahan Suhu Pada Tabung Saat Tabung Dalam Keadaan Kosong.....	54

Gambar 4.7 Grafik Nilai Besar Perubahan Suhu Pada Tabung Saat Tabung Tabung diisi Air.....	55
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Suhu pada Tabung Bagian Dalam.....	56
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Perubahan Radiasi Setiap Cermin pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan Tanggal 29 Agustus 2020.....	57
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat.....	58
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat.....	59
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Terendah pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat.....	60
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Terendah pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Dalam pada Alat.....	61
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Suhu Air yang Dihasilkan alat pada Tahun 2019 dan Tahun 2020.....	62
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Tekanan Uap yang Dihasilkan Alat pada Tahun 2019 dan Tahun 2020.....	63



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
T	Temperatur	°C
Q	Nilai Kalor	kJ
L	Panjang Penampang	m
K	Nikai Konduktivitas Bahan	kW/m°C
A	Luas Penampang	m ²
Cp	Panas Spesifik	kJ/kg
V	Volume Benda	m ³
H	Koefisien Perpindahan Panas	kW/m°C
σ	Konstanta Stevan Bolzman	$5,669 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}^4$
ϵ	Nilai Emisivitas Benda	-
D	Diameter	M
T	Waktu	s
G1	Intensitas Radiasi Matahari	W/ m ²
G2	Radiasi matahari Pada Permukaan Boiler	W/ m ²
G3	Radiasi Matahari Pada Permukaan Cermin	W/ m ²
T1	Suhu Udara dalam Boiler	°C
T2	Suhu Air dalam Boiler	°C
T3	Suhu dinding permukaan tabung	°C

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel A-2 <i>Properti of saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table</i>	70
Lampiran 2. Tabel A-4 <i>saturated Water - Temperature Table</i>	72
Lampiran 3. Dokumentasi Perancangan Alat.....	73
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Alat.....	75



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wahyuddin.

NIM : 342 17 027

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan dinyatakan 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 laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,

Wahyuddin
342 17 027

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Afahri Rahmadani

NIM : 34217036

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahawa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan dinyatakan 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 laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,

Afahri Rahmadani
342 17 036

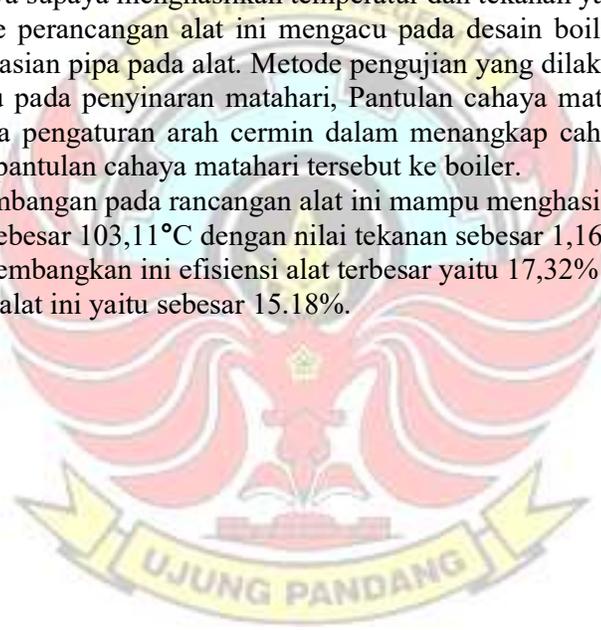
PENGEMBANGAN RANCANG BAGUN ALAT PEMBANGKIT UAP ENERGI SURYA

RINGKASAN

Salah satu sumber energi alternatif yang banyak di manfaatkan adalah energi surya. Energi surya telah banyak di gunakan menjadi sumber energi listrik yang biasa disebut *solar cell* dan sumber energi pada pemanasan air yang disebut *solar water heater*. Salah satu alat yang telah dibuat adalah alat pembangkit uap energi surya. Nmaun alat tersebut belum mampu menghasilkan temperature dan tekanan yang relative tinggi. Oleh karena itu perlu adanya pngembangan pada alat tersebut. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan alat pembnagkit uap sebelumnya supaya menghasilkan temperatur dan tekanan yang lebih optimal.

Metode perancangan alat ini mengacu pada desain boiler, desain cermin dan penginstalasian pipa pada alat. Metode pengujian yang dilakukan pada alat ini yaitu mengacu pada penyinaran matahari, Pantulan cahaya matahari dari cermin ke boiler, serta pengaturan arah cermin dalam menangkap cahaya matahari dan mengarahkan pantulan cahaya matahari tersebut ke boiler.

Pengembangan pada rancangan alat ini mampu menghasilkan suhu air di dalam boiler sebesar $103,11^{\circ}\text{C}$ dengan nilai tekanan sebesar 1,16 bar. Pada alat yang telah dikembangkan ini efisiensi alat terbesar yaitu 17,32% dan efisiensi terendah pada alat ini yaitu sebesar 15,18%.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pemanfaatan sumber energi alternatif di dunia sekarang ini meningkat cukup pesat. Hal ini didorong oleh semakin berkurangnya sumber energi yang bersifat konvensional. Salah satu sumber energi yang cukup menjadi sorotan adalah sumber energi surya, karena sumber energi ini bersifat ramah lingkungan (tidak menimbulkan polusi) dan tersedia dari alam serta lebih efisien. Ada berbagai macam alat konversi energi surya yang telah dikembangkan diantaranya ialah *converter* listrik seperti sel surya (*colar cell*) dan *converter* termal seperti kolektor pemanas air surya (*solar water heater collector*).

Meskipun sebagian alat pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari sudah mulai dikembangkan di beberapa negara, penggunaannya masih sangat kurang khususnya di Indonesia. Selain karena memiliki efisiensi yang sangat sedikit, alat pembangkit listrik jenis ini juga sangat membutuhkan biaya yang sangat besar per MW. Oleh karena itu, banyak negara-negara yang memikirkan anggaran dana sebelum membuatnya termasuk Indonesia. Oleh sebab itu, perancangan alat baru dengan memanfaatkan energi surya untuk menghasilkan listrik adalah langkah yang diperlukan (Malik dan Maharani, 2019).

Kegiatan ini merupakan pengembangan dari kegiatan penelitian yang dilakukan oleh Malik dan Maharani (2019). Penelitian tersebut membahas tentang pemanfaatan energi surya sebagai sumber panas untuk menghasilkan uap dengan menggunakan pantulan cahaya dari cermin (reflektor). Hasil dari penelitian

tersebut menunjukkan bahwa uap yang dihasilkan dari alat pembangkit uap yang dibuat adalah sebesar 0.3 bar dengan suhu maksimal air dalam *boiler* adalah 80°C-90°C. Namun, dari hasil penelitian yang dilakukan tersebut, uap yang dihasilkan masih bersifat uap jenuh dan belum bisa digunakan untuk memutar turbin. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengembangkan alat pembangkit uap tersebut sehingga dapat menghasilkan uap yang dapat memutar turbin. Secara umum, uap yang digunakan untuk memutar turbin adalah dalam keadaan *superheated* (uap kering) yakni berkisar antara 260°C-280°C dengan kadar air adalah 0% dan kadar uap adalah 100% (Sireger dan Martulus, 2015).

Pada kegiatan ini, alat yang telah dibuat sebelumnya dikembangkan dengan penambahan cermin pada alat. Hal ini dimaksudkan untuk lebih dapat memanaskan boiler sehingga suhu uap di *boiler* dapat meningkat. Selain itu, pengembangan juga dilakukan dari jenis *boiler*. Jenis boiler yang dibuat pada kegiatan ini adalah jenis *boiler* pipa air. Tipe *boiler* pipa air memiliki karakteristik menghasilkan kapasitas dan *steam* yang tinggi. (Anonym, 2018)

Berdasarkan alasan dan uraian yang telah dikemukakan, penulis tertarik untuk melakukan kegiatan penelitian dalam bentuk tugas akhir dengan judul “Pengembangan Rancang Bangun Alat Pembangkit Uap Energi Surya”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara meningkatkan temperatur air di *boiler* pada alat pembangkit uap energi surya yang dikembangkan?

2. Berapa besar suhu air dan tekanan uap yang dihasilkan dari alat pembangkit uap energi surya setelah dilakukan pengembangan ?
3. Berapa besar nilai efisiensi dari alat pembangkit uap energi surya setelah dilakukan pengembangan ?

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Adapun pembatasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya membahas radiasi matahari pada cermin
2. Hanya membahas pantulan sinar matahari ke *boiler*
3. Pengambilan data di laksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan letak $5^{\circ}07'47''$ BT dan $119^{\circ}28'50''$ LS.

1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan

1.4.1 Tujuan Kegiatan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka adapun yang menjadi tujuan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengembangkan rancang bangun alat pembangkit uap energi surya sehingga dapat meningkatkan temperatur air di *boiler* .
2. Mengetahui besar suhu air dan tekanan yang dihasilkan dari alat pembangkit uapa energi surya setelah dilakukan pengembangan.
3. Mengetahui nilai efisiensi alat pembangkit uap energi surya setelah dilakukan pengembangan.

1.4.2 Manfaat Kegiatan

Adapun manfaat yang didapatkan dari kegiatan ini adalah sebagai berikut:

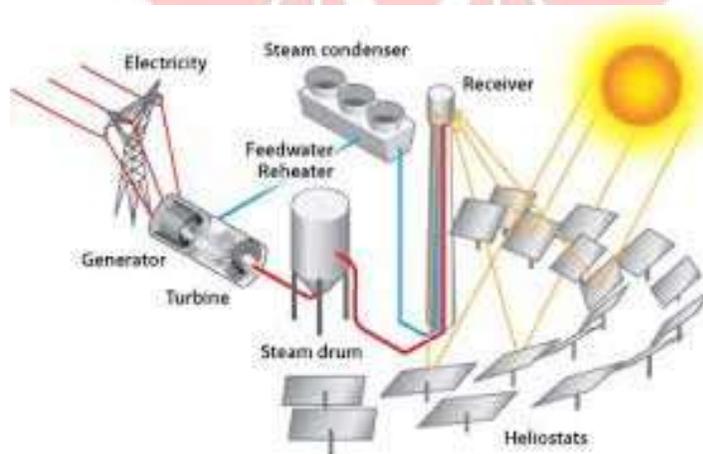
1. Hasil pengembangan diharapkan dapat membantu memaksimalkan pemanfaatan energi surya.
2. Hasil pengembangan diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Panas Surya (STPS)

Sistem tenaga panas surya (*Solar Thermal Power System*) adalah proses mengumpulkan dan memusatkan sinar matahari untuk menghasilkan panas bersuhu tinggi yang dibutuhkan untuk menghasilkan panas. Sebagian besar teknik untuk menghasilkan listrik dari panas memerlukan suhu tinggi pada fluida untuk mencapai efisiensi tertentu. Suhu keluaran kolektor surya tidak berkonsentrasi pada suhu yang konstan. Oleh karena itu, sistem pemekatan harus digunakan untuk membuat fluida transfer panas mencapai suhu yang lebih tinggi yang selanjutnya fluida tersebut akan berubah menjadi uap dan memutar turbin sehingga turbin yang terkopel langsung dengan generator akan memutar generator yang akhirnya generator menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Gambar Umum Pembangkit Listrik Tenaga Panas Surya
Sumber : *Energi.gov*, 2020

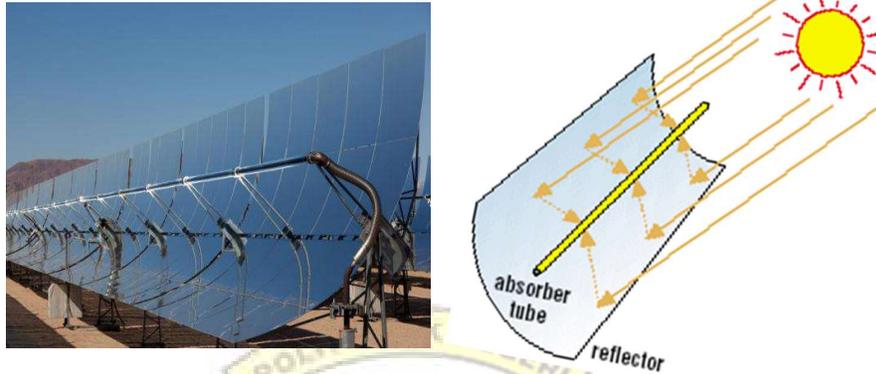
Sistem tenaga panas surya juga dapat memiliki komponen sistem penyimpanan energi termal yang memungkinkan sistem kolektor surya memanaskan sistem pemanasan pada alat di siang hari, dan panas dari sistem penyimpanan digunakan untuk menghasilkan listrik. (*U.S. Energy Information Administration, 2019*)

2.1.1 Jenis-Jenis Sistem Tenaga Panas Surya

Ada tiga jenis utama sistem tenaga panas surya terkonsentrasi yaitu sistem pemusatan linear, sistem menara, dan sistem piringan surya (mesin).

1) Sistem Pemusatan Linear

Sistem pemusatan linear yaitu mengumpulkan energi matahari menggunakan cermin panjang dan melengkung (membentuk U). Cermin memfokuskan sinar matahari ke penerima (tabung) yang membentang sepanjang cermin. Sinar matahari pekat memanaskan cairan yang mengalir melalui tabung. Cairan dikirim ke penukar panas untuk mendidihkan air dalam generator turbin uap konvensional untuk menghasilkan listrik. Ada dua jenis utama sistem konsentrator linear: sistem palung parabola, yang mana tabung penerima diposisikan di sepanjang garis fokus setiap cermin parabola, dan sistem *reflector Frenel* linear, yang mana cermin mobilitas lebih besar dalam melacak matahari.



Gambar 2.2 Pembangkit Sistem Pemusatan Linear
Sumber: Ivan, 2019

Pembangkit listrik kolektor konsentrasi linier memiliki sejumlah bidang kolektor dalam baris paralel yang biasanya diselaraskan dalam orientasi utara-selatan untuk memaksimalkan pengumpulan energi surya. Konfigurasi ini memungkinkan cermin untuk melacak matahari dari timur ke barat pada siang hari dan memusatkan sinar matahari terus menerus ke tabung penerima.

Energi dari cahaya matahari disebut sebagai foton. Ketika foton diserap oleh material semi konduktor, energi foton akan membentur elektron di dalam semikonduktor sehingga beberapa elektron mendapat energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah ke pita konduksi (Setiawan dkk., 2015).

2) Menara Tenaga Surya

Sistem menara tenaga surya menggunakan bidang besar yakni cermin pelacakan matahari yang disebut heliostat untuk memantulkan dan memusatkan sinar matahari ke penerima di bagian atas menara. Sinar matahari dapat

terkonsentrasi sebanyak 1.500 kali. Beberapa menara listrik menggunakan air sebagai cairan transfer panas. Desain canggih bereksperimen dengan garam nitrat cair karena kemampuan transfer panas dan penyimpanan energinya yang unggul. Kemampuan penyimpanan energi termal memungkinkan sistem menghasilkan listrik selama cuaca mendung atau di malam hari (Setiawan dkk., 2015).



Gambar 2.3 Pembangkit dengan Sistem Menara Tenaga Surya
Sumber: Autsralian Broadcasting Cooperation, 2020

3) Sistem Kolektor Palung Parabola

Kolektor palung parabola memiliki reflektor berbentuk parabola panjang yang memfokuskan sinar matahari pada pipa penerima yang terletak di fokus parabola. Kolektor miring dengan matahari untuk menjaga sinar matahari terfokus pada penerima saat matahari bergerak dari timur ke barat pada siang hari. Karena bentuknya yang parabola, palung dapat memfokuskan sinar matahari dari 30 kali hingga 100 kali intensitas normal (rasio konsentrasi) pada pipa penerima, yang terletak di sepanjang garis fokus palung, dan mencapai suhu operasi lebih tinggi dari 750°F.



Gambar 2.4 Pembangkit Sistem Kolektor Palung Parabola
Sumber: *Trell*, 2020

Sistem kolektor palung parabola juga disebut piringan surya atau sistem mesin karena menggunakan piringan cermin yang serupa dengan piringan satelit yang sangat besar. Untuk mengurangi biaya, piring cermin biasanya terdiri dari banyak cermin datar kecil yang dibentuk menjadi piring. Permukaan berbentuk piring mengarahkan dan memusatkan sinar matahari ke penerima termal, yang menyerap dan mengumpulkan panas dan mentransfer ke generator mesin. Jenis mesin panas yang paling umum digunakan dalam sistem palung/mesin adalah mesin *stirling*. Sistem ini menggunakan fluida yang dipanaskan oleh penerima untuk menggerakkan piston dan menghasilkan tenaga mekanis. Tenaga mekanik menjalankan generator atau alternator untuk menghasilkan listrik. Piringan surya / sistem mesin selalu mengarah lurus ke matahari dan memusatkan energi matahari pada titik fokus piringan. Rasio konsentrasi piringan matahari jauh lebih tinggi daripada sistem konsentrasi linear, dan memiliki suhu fluida kerja lebih tinggi dari 1.380°F. Peralatan pembangkit listrik yang digunakan dengan piringan surya dapat dipasang di titik fokus piringan. Energi dapat dikumpulkan dari sejumlah

instalasi dan di konversi menjadi listrik di titik pusat (*National Renewable Energy Laboratory, 2016.*).

2.2 Ketel Uap (*Boiler*)

Ketel uap atau *boiler* merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin, 1998:28). *Boiler* atau ketel *steam* adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin, 2000:13). *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.

Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

- *Furnace* (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- *Steam drum* yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial *steam* (energi panas).

Boiler pada dasarnya terdiri dari *drum* yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklasifikasikan ketel *steam* tergantung kepada sudut pandang masing-masing (Muin, 1998 :8).

Dalam perancangan *boiler* ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar *boiler* yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai

dengan yang dibutuhkan. Faktor yang mendasari pemilihan jenis *boiler* adalah sebagai berikut :

- Kapasitas yang digunakan
- Kondisi *steam* yang dibutuhkan
- Bahan bakar yang dibutuhkan
- Konstruksi yang sederhana dan perawatan mudah
- Tidak perlu air isian yang berkualitas tinggi

Tabel 2.1 Data Hasil Pengujian Kondensasi Uap Keluaran Boiler

Waktu	Kondensasi Uap	Tekanan Uap
	(gram)	(bar)
10:00		1,013,525
11:00	2,8	1,013,525
12:00	3,2	1,013,525
13:00	3,4	1,013,525
14:00	3,1	1,013,525

Sumber : Malik, dan Maharani, 2019

2.2 Perpindahan Panas dengan Radiasi

2.3.1 Radiasi Termal

Jika suatu benda ditempatkan di dalam sebuah pengurung (wadah yang mengurungnya), dan suhu dinding-dinding pengurung lebih rendah daripada suhu benda, maka suhu benda tersebut akan turun sekalipun ruang di dalam kurungan tersebut hampa. Proses dengan nama perpindahan panas dari suatu benda terjadi berdasarkan suhunya, tanpa bantuan dari suatu zat-antara (medium) yang campur-tangan, disebut radiasi termal (Kreith, 1994).

Tabel 2.2 Nilai Konduktivitas *Thermal* Beberapa Bahan

Bahan Logam	<i>k</i>(W/m.C)	Bahan Non Logam	<i>k</i> (W/m.C)
Perak	410	Kuarsa	41,6
Tembaga	385	Magnesit	4,15
Aluminium	202	Marmar	2,08-2,94
Nikel	93	Batu Pasir	1,83
Besi	73	Kaca Jendela	0,78
Baja Karbon	43	Kayu	0,08
Timbal	35	Serbuk Gergaji	0,059
Baja Krom-Nikel	16,3	Wol Kaca	0,038
Emas	314	Karet	0,2
		Polystyrene	0,157
		Polyethylene	0,33
		Polypropylene	0,16
		Polyvinyl Chlorida	0,09
		Kertas	0,166
Zat Cair		Zat Gas	
Air Raksa	8,21	Hidrogen	0,175
Air	0,556	Helium	0,141
Amonia	0,540	Udara	0,024
Minyak Lumas SAE 50	0,147	Uap Air (jenuh)	0,0206
Freon 12	0,073	Karbondioksida	0,0146

Sumber : Holman, 1983

2.3.2 Radiasi Benda Hitam

Sebuah benda hitam, atau radiator ideal, adalah sebuah benda yang pada suhu berapapun memancarkan atau menyerap jumlah radiasi semaksimal mungkin pada panjang gelombang tertentu yang manapun. Radiator ideal adalah pengertian teoretik yang menetapkan batas atas pada pancaran radiasi sesuai dengan hukum-kedua termodinamika (Kreith, 1994).

Rumus yang menunjukkan bagaimana daya pancar suatu benda-hitam terbagi di antara berbagai panjang gelombangnya telah diturunkan oleh Max Planck dalam tahun 1900 dengan wahana teori kuantumnya. Menurut hukum Planck:

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5(e^{C_2/\lambda T} - 1)} \dots\dots\dots 2-1$$

yang mana $E_{b\lambda}$ = daya pancar monokratik benda hitam pada suhu T dalam Btu/h

ft² mikron (atau W/m³),

λ = panjang gelombang dalam micron (μ)(atau m),

T = suhu mutlak benda daam derajat r (derajat f mutlak) (atau K),

$C_1 = 1,1870 \times 10^8$ Btu/mikron⁴ /ft² h (atau $374,15 \times 10^{-18}$ Wm²),

$C_2 = 2,5896 \times 10^4$ mikron R (atau $14,388 \times 10^{-3}$ m K). (Kreith.1994)

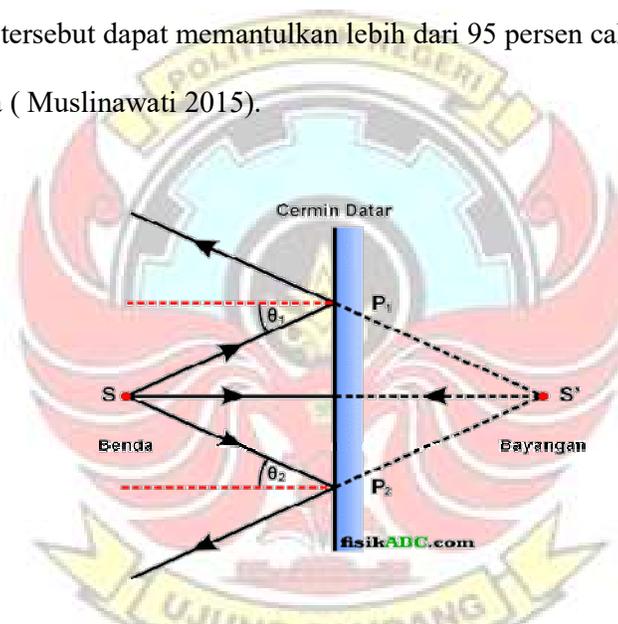
2.3.3 Faktor Bentuk Radiasi

Dalam kebanyakan praktek yang menyangkut radiasi, intensitas radiasi yang melintas antara permukaan tidak banyak terpengaruh oleh adanya zat perantara

(medium) yang turut campur, kecuali jika suhunya tinggi sehingga terjadi ionisasi atau disosiasi. Gas-gas beratom tunggal kebanyakan berasal dari gas-gas di atom dan juga udara yang bersifat transparan (Kreith. 1994).

2.4 Cermin Datar

Cermin datar adalah cermin yang mempunyai permukaan datar, di mana salah satu permukaannya dilapisi dengan logam pemantul sehingga permukaan cermin datar tersebut dapat memantulkan lebih dari 95 persen cahaya yang mengenainya (Muslinawati 2015).



Gambar 2.5 Pemantulan Cermin Datar
Sumber : Fisikabc, 2017

Bayangan pada cermin datar mempunyai sifat-sifat berikut:

- 1) Ukuran (besar dan tinggi) bayangan sama dengan ukuran benda.
- 2) Jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda ke cermin.
- 3) Penampakan bayangan berlawanan dengan benda, misalnya tangan kiri akan menjadi tangan kanan bayangan.
- 4) Bayangan tegak seperti bendanya.

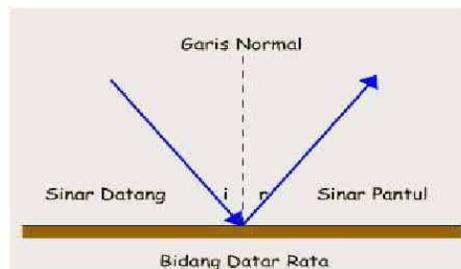
- 5) Bayangan bersifat semu atau maya, yang artinya adalah bayangan dapat dilihat dalam cermin, tetapi tidak dapat ditangkap oleh layar (Ishak, 2007).

2.4.1 Pemantulan Cahaya

Pada permukaan yang rata seperti cermin datar, cahaya memantul membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula. Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pantulan semacam ini disebut pantulan teratur atau pantulan biasa. Berbeda dengan benda yang memiliki permukaan rata, pada benda mengenai suatu permukaan yang tidak rata, maka sinar-sinar yang datang sejajar pada permukaan tersebut dipantulkan tidak sebagai sinar-sinar sejajar. Pemantulan seperti ini disebut pemantulan baur (Muslinawati, 2015).

Hukum pemantulan cahaya dikemukakan W. Snellius, Menurutnya, apabila seberkas cahaya mengenai permukaan bidang datar yang rata, maka akan berlaku aturan-aturan sebagai berikut:

1. Sinar datang (sinar jatuh), garis normal, dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut sinar datang (sinar jatuh) sama dengan sudut pantul ($i = r$).



Gambar 2.6 Pemantulan Cahaya pada Bidang Datar
Sumber: Muslinawati, 2015

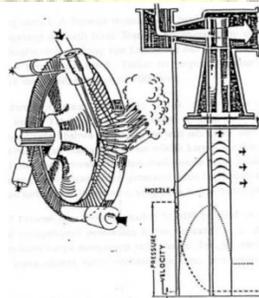
2.5 Turbin Uap

Turbin uap adalah pesawat yang mengubah energi mekanis yang disimpan di dalam fluida menjadi energi mekanis rotasional (Sitompol, 1966).

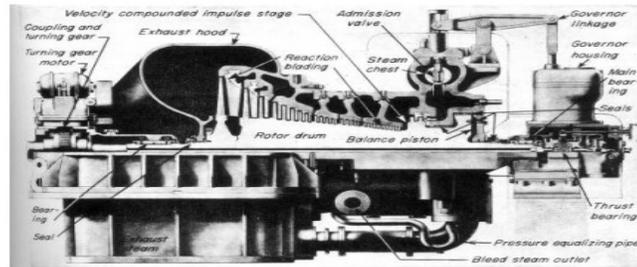
2.5.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk merubah energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi mengalir melalui nosel sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin akan bergerak menghasilkan putaran (energi mekanik)

Uap yang telah melakukan kerja di turbin memiliki tekanan dan temperatur yang turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap yang keluar dari turbin ini kemudian dialirkan kedalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi air kondensat, sedangkan tenaga putar yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja Turbin Uap
sumber : PLN, 2007



Gambar 2.8 Irisan Memanjang Turbin Uap Satu Silinder
sumber : PLN, 2007

2.5.2 Jenis-Jenis Turbin Berdasarkan Prinsip Kerjanya

Jenis turbin menurut prinsip kerjanya terdiri dari :

- Turbin impuls
- Turbin reaksi

Turbin impuls atau turbin tekanan tetap adalah turbin yang ekspansi uapnya hanya terjadi pada sudu-sudu tetap atau nosel. ketika uap melewati sudu tetap, maka tekanan turun dan uap mengalami peningkatan energi kinetik. Sudu-sudu tetap berfungsi sebagai nosel (saluran pancar) dan mengarahkan aliran uap ke sudu-sudu gerak. Sedangkan turbin reaksi yaitu penurunan tekanan yang terjadi pada sudu tetap dan sudu gerak.

BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan

Kegiatan ini dilaksanakan di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang dari Maret 2020 sampai dengan Agustus 2020.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

No.	WaktuKegiatan	Kegiatan
1.	Maret 2020 – April 2020	Perancangan mekanik
2.	April 2020 – Mei 2020	Pemasangan mini <i>boiler</i>
3.	Mei 2020	Pemasangan pipa dan isolasi
4.	Juni 2020	Pemasangan alat tambahan (alat ukur)
5.	Juli 2020	Pengujian Alat
6.	Juli 2020-Agustus 2020	Pembuatan laporan

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan komponen yang digunakan dalam pengembangan alat ini adalah sebagai berikut:

Alat yang digunakan yaitu:

1. Meteran
2. Spidol
3. Gergaji Besi
4. Gergaji kayu
5. Gurinda
6. Obeng plus
7. Mesin bor
8. Mesin las
9. Kertas amplas kasar
11. Kunci baut
12. Laptop
13. Mmeteran suhu
14. Kikir
15. Palu
16. Kabel panjang
17. Gunting
18. Lakban putih dan hitam
19. Mata bor

Tabel 3.2 Perbedaan Alat yang Digunakan dalam Proses Pembuatan Alat

No.	Nama Alat	Jumlah alat pada penelitian Malik, dan Maharani , 2019	Jumlah alat Tahun 2020	Satuan	Spesifikasi (Merek)
1.	Meteran	1	1	Buah	Stanley
2.	Spidol	1	1	Buah	Snowman
3.	Gergaji besi	1	1	Buah	Hacksaw
4.	Gergaji kayu	-	1	Buah	Flexigo
5.	Gurinda	1	1	Buah	Mak ita
6.	Obeng plus	1	1	Buah	Sanfix

Lanjutan tabel 3.2

7	Kertas amplas kasar	3	3	Lembar	Nikken
8.	Tang Standar	1	1	Buah	Goot
9.	Kunci Baut	2	2	Buah	Tekiro
10.	Laptop	2	2	Buah	Asus
11.	Meteran Suhu	1	1	Buah	-
12.	Kikir	1	1	Buah	Krisbow
13.	Palu	1	1	Buah	Krisbow
14.	Kebel Panjang	1	1	Buah	Kawachi
15.	Gunting	1	1	Buah	Ideal
16.	Lakban Hitam	1	1	Buah	Joyko
17.	Mata Bor	1 1 1	1 1 1	Buah	1 cm 1 cm 2,5 cm
18.	Mesin bor	1	1	Buah	Nankai
19.	Mesin las	1	1	Buah	Rhino

Ada pun bahan-bahan yang digunakan dalam pengembangan alat ini adalah sebagai berikut:

1. Cermin
2. Lem kaca
3. Elektroda las
4. Baut mur
5. Lem besi
6. Elektroda las stainlis
8. Isolasi
9. Pressure Gauge
10. termokopel
11. Besi hollow
12. Besi plat
13. Plat besi

7. Cat hitam

14. Lem lilin

15. valve

17. Papan tripleks

16. nozzle

Tabel 3.3 Perbedaan Bahan-Bahan yang Digunakan dalam Proses Pembuatan Alat sebelum dan setelah Pengembangan

No	Material	Jumlah bahan pada penelitian Malik, dan Maharani, 2019	Jumlah bahan pada Tahun 2020	Satuan	Spesifikasi
1.	Cermin	24	32	Buah	Tebal 3 mm Datar full frame
2.	Lem Kaca	1	1	Buah	Epotec Glasses glue
3.	Elektroda Las	1	1	Kg	Nikko RD 260 2 mm
4.	Elektroda Las Stainless	1	1	Pack	Nikko Steel 2 mm
5.	Baut Mur Ukuran 10 cm Ukuran 5 cm	23 23	32 32	buah buah	Tekiro 10 mm Ferro alloy
6.	Lem Besi	3	3	Buah	Dextone plastic steel 24g
7.	Cat Hitam	100	100	MI	Nippon paint spot less
8.	Valve Satu Arah	1	1	Buah	Onda ½
9.	Valve	2	3	Buah	Onda ½
10.	Nozzle	-	1	Buah	Lakon Stainless 1,75 mm
11.	Isolasi	1 x 2	1 x 2	meter persegi	Peredam Suara
12.	Pressure Gauge	2	4	Buah	-
13.	Termokopel	3	4	Buah	Pt100 tipe k
14.	Besi hollow	16	-	Meter	20 x 40 mm Aluminium

Lanjutan tabel 3.3

15.	Papan Tripleks	-	2	Buah	2mm, 122 x 224m
16.	Plat Besi	1	1	Meter persegi	Tebal 1 mm Besi Campuran
17.	Besi plat	1	1	Meter	1 x 20 mm besi campuran
18.	Lem lilin	10	10	Buah	Diameter 1 cm

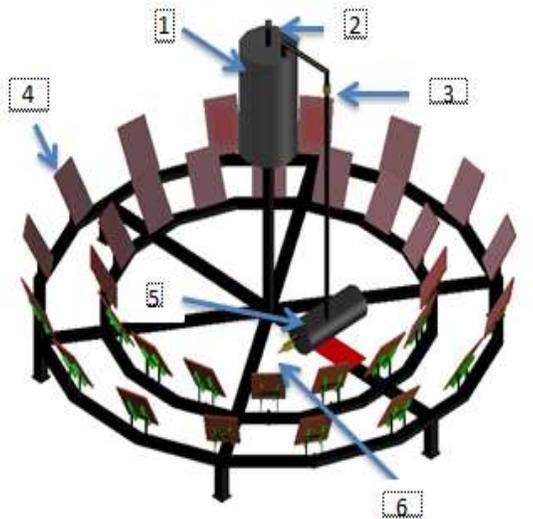
3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada kegiatan ini adalah meliputi tahap perancangan dan pembuatan.

3.3.1 Tahap Perancangan

1) Perancangan Rangka Mekanik

Perancangan rangka dasar dilakukan dengan proses desain awal menggunakan *software Autocad*. Desain rangka yang digunakan berbentuk persegi enam belas (*poligon*) diameter rangka luar adalah 230 cm dan diameter rangka dalam adalah 160 cm dengan tujuan untuk mempermudah penempatan cermin-cermin. Untuk pemilihan bahan rangka, dipakai besi hollow dengan ukuran 4 cm x 4 cm. Pemilihan bahan disesuaikan dengan fungsi dari rangka itu sendiri yaitu menopang cermin-cermin dan bagian-bagian lain. Adapun hasil desain pengembangan alat dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.

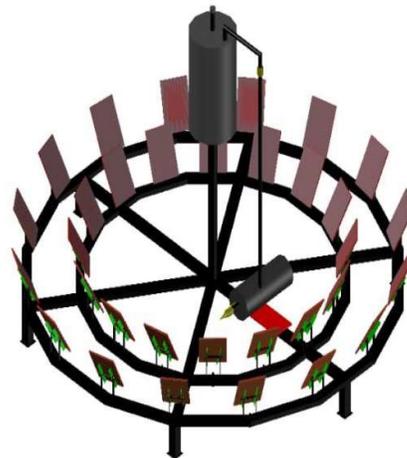


Keterangan gambar :

1. *Boiler*
2. *Inlet* (Jalur masukan air)
3. katup
4. Cermin Datar
5. *Boiler drum*
6. *Nozzle*

Gambar 3.1 Desain Pengembangan Alat Pembangkit Uap Energi Surya

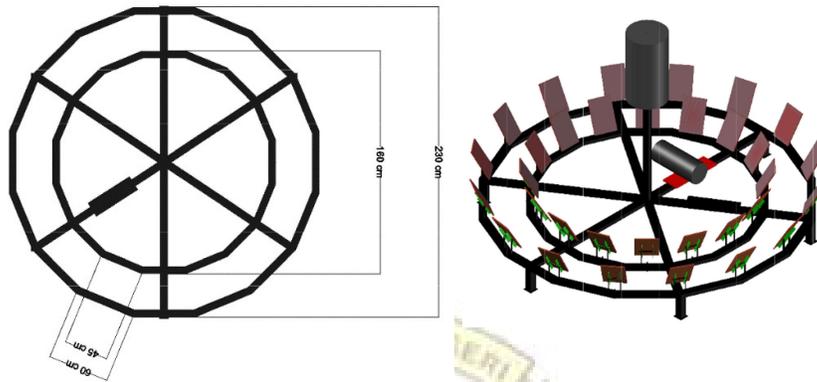
Adapun perbandingan alat pembangkit uap energi surya yang telah dibuat sebelumnya dengan hasil desain pengembangan alat yang dibuat dapat dilihat pada gambar berikut.



Sumber : Malik, dan Maharani, 2019

Gambar 3.2 Perbandingan Alat Pembangkit Uap Energi Surya sebelum Dikembangkan dan Desain Alat setelah Dikembangkan

Adapun hasil desain rangka dasar alat yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar berikut.

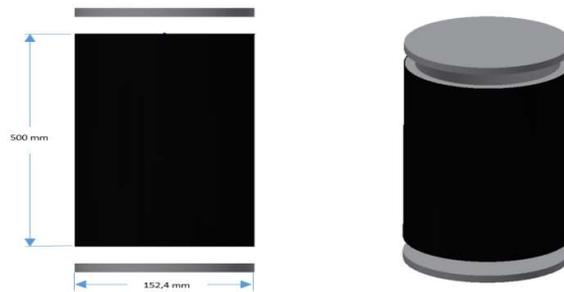


Gambar 3.3 Desain Rangka Dasar

Untuk jenis penyambungan besi hollow akan digunakan dua teknik yaitu pengelasan dan pengelingan. Pengelingan sendiri digunakan untuk penyambungan bagian rangka tambahan apabila bahan tidak cocok untuk teknik pengelasan.

3.3 Perancangan Mini *Boiler* dan *Steam Drum*.

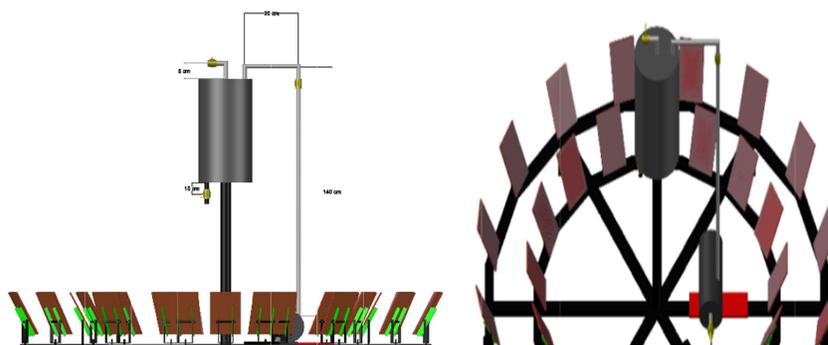
Pada perancangan mini *boiler* dan *steam drum* digunakan pipa galvanis dengan diameter 15,24 cm (6 inci), panjang 50 cm dan tebal 2 mm. Setiap lubang bagian atas dan bawah ditutupi menggunakan plat tebal 2 mm dengan teknik penyambungan las. Mini *boiler* dan *steam drum* ini didesain agar tahan pada tekanan <5 bar. Adapun desain *boiler* dan *steam drum* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut. Pada alat sebelumnya, boiler dicat di bagian luarnya dengan warna hitam. Namun, pada kegiatan ini, bagian dalam boiler yang dicat dengan warna hitam. Ada pun perubahan pada boiler drum yaitu sebelum diisolasi, boiler drum juga dicat dengan warna hitam.



Gambar 3.4 Boiler dan Steam Drum pada Alat

3.4 Perancangan Instalasi Pipa

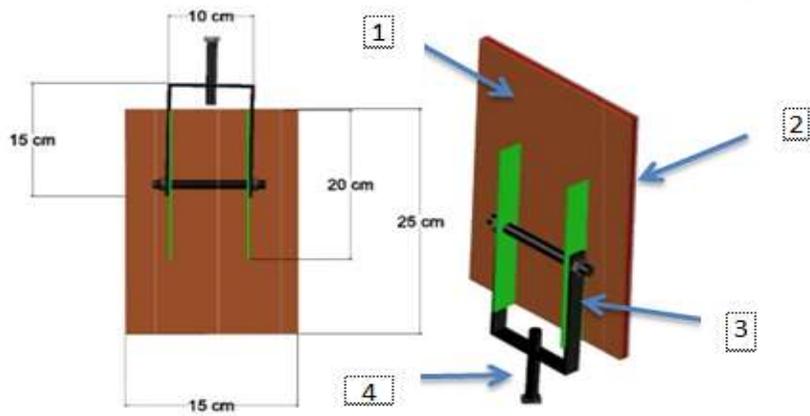
Instalasi pipa difungsikan untuk jalur uap mengalir keluaran boiler menuju penampungan uap (*steam drum*) dan diteruskan menuju turbin. Pembuatan desain dari instalasi pipa menggunakan *software Autocad*. Jenis pipa yang digunakan adalah pipa galvanis diameter 2,54 cm (1 inci) dengan teknik penyambungan ulir. Pada instalasi pipa ini, digunakan elbow 90° dan katup putar untuk mengatur aliran uap serta pemasangan katup satu arah sebelum memasuki *steam drum*. Adapun gambar instalasi pipa dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Desain Instalasi Pipa

3.6 Perancangan Rangka Cermin

Pada rangka cermin, bahan yang digunakan sebagai rangka atau penopang cermin adalah besi batang ukuran diameter 5 mm dan panjang setiap besi adalah 20 cm. Desain rangka cermin dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut yang dibuat menggunakan *software Autocad*. Pemakaian bahan tripleks kayu dan isolasi juga digunakan sebagai alas cermin sebelum dipasang pada rangka. Untuk alas sendiri, akan digunakan tripleks kayu dan isolasi berukuran 15 cm x 25 cm agar semua bagian belakang cermin terisolasi



Gambar 3.6 Perancangan Rangka Cermin

Keterangan gambar:

1. Papan Tripleks
2. Cermin Datar
3. Besi Penyangga Papan Tripleks dan Cermin Datar
4. Baut

3.6.1 Tahap Pengembangan

Adapun langkah-langkah pengembangan rancang bangun pembangkit uap tenaga surya adalah sebagai berikut :

- 1) Membongkar mini *boiler*, *steam drum*, dan cermin.
- 2) Membuat mini *boiler* sesuai dengan desain yang telah dikembangkan dari alat sebelumnya.
- 3) Membuat *steam drum* sesuai dengan desain yang telah dibuat.
- 4) Memasang cermin pada tempat yang telah ditetapkan sesuai dengan desain gambar.

3.6.2 Tahap Perakitan

a. Langkah-langkah perakitan rangka cermin sebagai berikut:

- 1) Memasang triples kayu pada setiap rangka cermin kemudian lem triples dengan isolasi beserta cerminnya. Selanjutnya pasang besi batang ukuran 10 cm pada triples sebagai sambungan ke rangka cermin.
- 2) Memasang baut dan mur pada setiap rangka cermin sebagai bantalan putar agar arah cermin dapat diatur.
- 3) Memasang besi rangka penopang cermin sesuai Gambar 3.4 dengan teknik sambungan las. Sesuaikan jarak antar besi agar posisi cermin tepat mengarah ke *boiler*. Setelah itu pasang semua cermin pada rangka dengan teknik penyambungan las. Penopang cermin juga bertujuan agar pantulan cermin dapat diarahkan ke *boiler*.

3.7 Teknik Pengambilan Data

Dalam proses pengambilan data, adapun parameter-parameter yang diukur dapat dilihat pada tabel berikut:

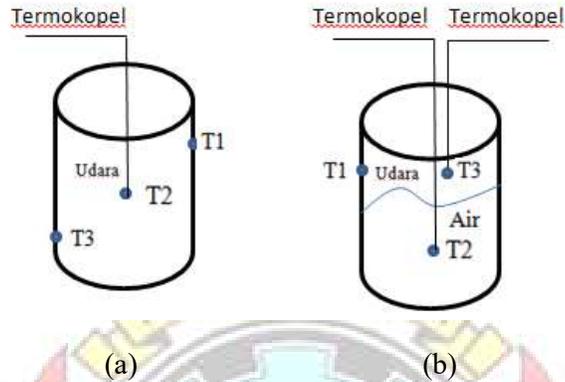
Tabel 3.4 Parameter-parameter yang Diukur dalam Pengujian Alat

No.	Parameter	Simbol	Satuan	Alat Ukur
1.	Radiasi Matahari	E_R	W/m^2	Piranometer
2.	Tekanan didalam <i>Boiler</i>	P_1	Bar	Pressure Gauge (P_1)
3.	Tekanan didalam <i>Boiler Drum</i>	P_2	Bar	Pressure Gauge (P_2)
4.	Suhu Udara (U_{ap}) didalam <i>Boiler</i>	T_1	$^{\circ}C$	Termokopel (T_1)
5.	Suhu dalam <i>Boiler</i>	T_2	$^{\circ}C$	Termokopel (T_2)
6.	Suhu didalam <i>Boiler Drum</i>	T_3	$^{\circ}C$	Termokopel (T_3)
7.	Volume Air didalam <i>Boiler</i>	V	m^3	Flowmeter
8.	Lama Penyinaran	t	Detik	Stopwatch

Adapun urutan langkah-langkah pengambilan data sebagai berikut:

- 1) Mengisi air ke mini *boiler* sebanyak $\frac{3}{4}$ volume total dari *boiler*.
- 2) Menutup semua katup yang terhubung ke *boiler*.
- 3) Mengukur radiasi matahari dengan menggunakan piranometer.
- 4) Mengukur suhu di dalam *boiler* dan *boiler drum* dengan pembacaan suhu pada alat ukur termokopel terpasang.
- 5) Mengukur tekanan di dalam *boiler* dan *boiler drum* dengan pembacaan suhu pada alat ukur pressure gauge yang sudah terpasang.
- 6) Mengukur laju aliran massa.

- 7) Mengukur temperatur uap masuk turbin dan uap keluar turbin.
- 8) Mengulangi percobaan no.3 sampai no.7 dengan jarak waktu 30 menit, setelah itu catat semua data yang diperoleh kedalam tabel.



Gambar 3.7 pengujian tabung dalam keadaan (a) tanpa beban, (b) berbeban.

3.8 Teknik Analisis Data

Pada kegiatan ini, adapun parameter yang dianalisis adalah sebagai berikut:

1) Emisivitas Cermin

Karena emisivitas cermin (ϵ) merupakan nilai efisiensi cermin maka persamaan yang digunakan yaitu:

$$\epsilon = \frac{G2}{G1} \times 100\%$$

Ket.: ϵ = emisivitas Cermin (%)

$G1$ = Radiasi Matahari yang Diterima Permukaan Cermin (W/m^2)

$G2$ = Radiasi Matahari yang Dipantulkan Permukaan Cermin (W/m^2)

2) Energi Input

Karena energi input merupakan energi radiasi yang diterima permukaan cermin maka persamaan yang di gunakan yaitu:

$$Q_{in} = (G1 \times A)t$$

Ket.: Q_{in} = Energi Input (KJ)

$G1$ = Radiasi Matahari (W/m^2)

A = Luasan Cermin (m^2)

T = waktu (detik)

3) Energi Output

$$Q_{out} = m.Cp_{air}. \Delta T$$

Ket. : Q_{out} = Energi Output (kJ)

m_u = Massa Air (kg)

Cp_{air} = Kapasitas Kalor air (kJ/kg.K)

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}C$)

3) Efisiensi Alat

Setelah memperoleh energi input dan energi output maka dapat ditentukan nilai efisiensi dari alat sebagai berikut:

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

Adapun proses kegiatan secara keseluruhan dilihat pada diagram alir berikut:



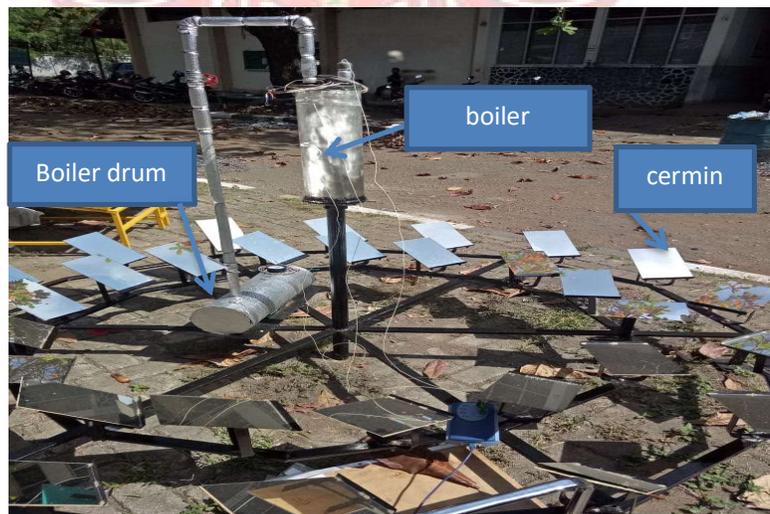
Gambar 3.8 Diagram Alir Kegiatan.

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Hasil Kegiatan

4.1.1 Hasil Perakitan Rangka dasar

Berdasarkan prosedur perancangan dan perakitan, rangka dasar alat pembangkit uap energi surya ini telah selesai dibuat, namun tidak sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh sulitnya menemukan bahan yang digunakan. Pada alat ini, dilakukan pengembangan pada rangka dasar. Pengembangan tersebut adalah pengeboran tambahan sejumlah 8 titik dan penambahan jumlah cermin menjadi 32 buah. Setelah selesai melakukan pengembangan rangka dasar alat ini, selanjutnya alat dicat menggunakan warna hitam yang berfungsi sebagai penyangga boiler dan boiler drum, yang selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Hasil Perakitan Rangka Dasar Alat Pembangkit Uap Energi Surya yang Telah Dipasangi Cermin

4.1.2 Hasil Pembuatan Boiler dan Boiler Drum

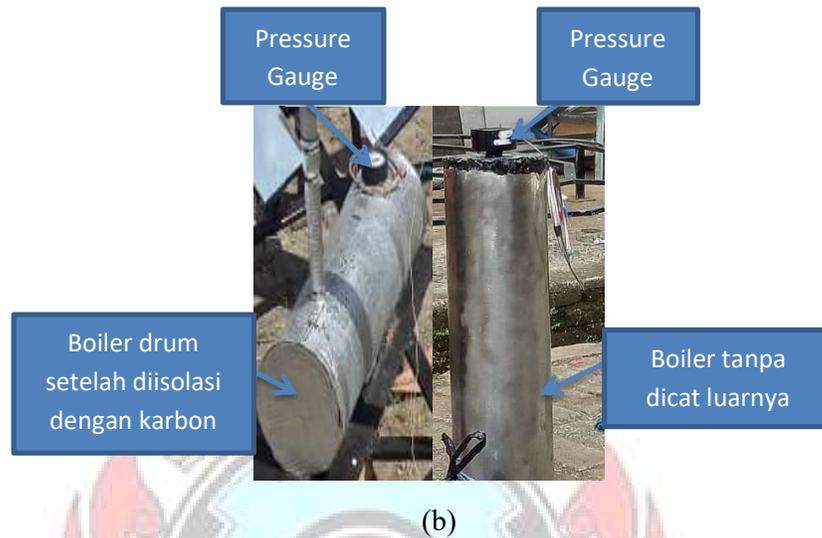
Berdasarkan prosedur perancangan dan pembuatan boiler dan boiler drum, dilakukan perubahan pada alat sebelumnya. Pada alat sebelumnya, boiler dicat di bagian luarnya dengan cat berwarna hitam. Namun, pada kegiatan ini, bagian dalam boiler yang dicat dengan warna hitam. Ada pun perubahan pada boiler drum yaitu sebelum diisolasi, boiler drum juga dicat dengan warna hitam. Panjang boiler dan boiler drum adalah 50 cm. Boiler menggunakan pipa stainless dengan tebal pipa 2 mm dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kelas : 420J2 *hardened tempered stainless*
- Standar : ASTM A20
- Tebal: 2mm
- Lebar : 600 mm min
- Panjang : 2000 mm-8000mm
- Komposisi kimia : C:0,26-0,4% Aim: 0,3%
Cr: 12-14% Aim: 13%

Pada akhir pembuatan boiler dan boiler drum, dilakukan pengisolasian dengan karbon pada boiler drum. Selengkapnya dapat pada Gambar 4.2 berikut.



(a)

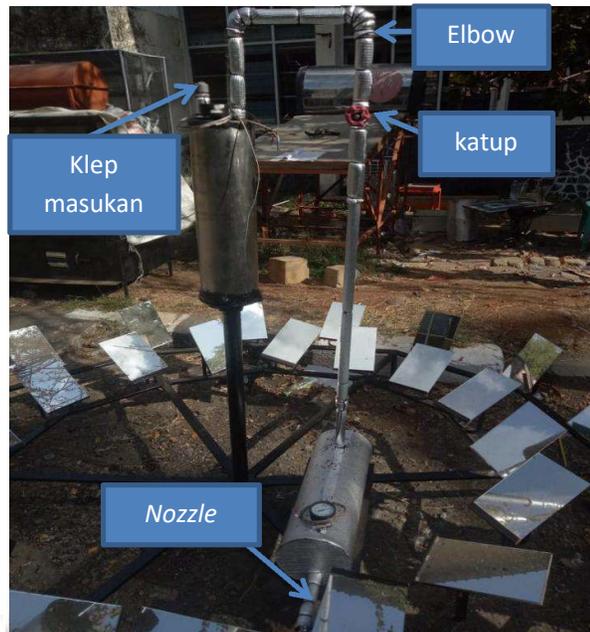


Gambar 4.2 (a) Hasil rancang boiler drum dan boiler

(b) Hasil rancang boiler drum dan boiler dan alat ukur yang terpasang

4.1.3 Hasil Perakitan Instalasi Pipa

Instalasi pipa digunakan sebagai jalur suplai uap dari alat. Dengan menggunakan pipa aluminium dengan ketebalan 1 mm, instalasi ini menghubungkan suplai uap dari boiler ke boiler drum. Terlihat pula pada gambar, instalasi ini menggunakan elbow 90 dua buah katup dan disertai *nozzle* pada bagian keluaran boiler drum. Pada bagian atas boiler, terdapat instalasi untuk memasukkan air ke dalam boiler dengan klep putar. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Hasil Rancangan Instalasi Pipa Beserta Bagian-Bagiannya.

4.1.4 Hasil Perakitan Rangka Cermin

Rangka untuk menopang cermin telah selesai dibuat. Dengan ukuran cermin 15 cm x 20 cm, rangka ini difungsikan agar dapat mengarahkan cermin dan memfokuskan pantulan cahaya ke boiler. Rangka ini menggunakan besi plat dan tripleks sebanyak 32 buah.(sesuai jumlah cermin) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Warna: biru
- b) Tebal: 5cm
- c) Tipe: kaca float
- d) Jenis pengolahan: kaca tempered, kaca limited

Pada perakitan ini, baut mur digunakan sebagai sambungan. Untuk mencegah pemuaian cermin akibat panas maka digunakan lem lilin sebagai perekat antar besi dan cermin. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Hasil Perakitan Rangka Cermin dan Cermin

4.1.5. Hasil Pengujian

Pengujian alat ini dilakukan sebanyak lima tahap. Tahap pertama, yaitu pengujian nilai emisivitas cermin dengan cermin dalam keadaan kotor dan bersih yaitu dengan mengukur nilai radiasi yang diterima dan yang dipantulkan oleh cermin. Tahap kedua adalah pengujian radiasi tabung tanpa diisi air yaitu proses pengukuran boiler dengan alat ukur piranometer dengan 6 titik uji coba. Tahap ketiga adalah pengujian boiler tanpa diisi air yaitu mengukur pemanasan tabung dengan alat ukur pico technology pada 3 titik. Tahap keempat adalah proses pemanasan air pada boiler. Tahap kelima atau tahap terakhir adalah pengujian radiasi pada setiap cermin untuk melihat nilai titik tertinggi dan terendah radiasi matahari pada cermin.

Kelima tahap pengujian tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:

1) Prosedur Pengujian Emisivitas pada Cermin dengan Cermin dalam Keadaan Kotor dan Bersih

Pada pengujian ini, cermin yang digunakan sebagai sampel sebanyak sepuluh buah,

Adapun prosedur pengujian adalah sebagai berikut;

- a) Siapkan alat yang akan diuji dalam hal ini cermin sebanyak 10 buah (disimbolkan C1 untuk cermin ke-1 dan seterusnya), pasang pada rangka dasar menggunakan baut mur dengan posisi setiap cermin mengelilingi boiler
- b) Siapkan alat ukur piranometer (alat ukur radiasi matahari) dan tabel untuk mencatat nilai yang terukur
- c) Mengatur cermin pada posisi mengarah ke matahari dengan memutar sambungan baut murnya
- d) Ukur radiasi yang diterima pada permukaan cermin dan radiasi yang dipantulkan oleh cermin menggunakan piranometer
- e) Catat hasil pengukuran ke dalam tabel yang telah disiapkan
- f) Ulangi pengukuran setiap 5 menit sekali, dan catat kembali hasilnya ke dalam tabel.

Pada pengujian emisivitas cermin dalam keadaan bersih, lakukan langkah a dan b, kemudian pada langkah c. Sebelum mengatur cermin pada posisi mengarah

ke matahari, cermin dibersihkan terlebih dahulu, setelah itu lakukan langkah d,e dan f secara sistematis.

2) Prosedur Pengujian Radiasi Tabung Tanpa Diisi Air

Prosedur pada tahap pengujian kedua ini adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan alat yang akan diuji dalam hal ini alat pembangkit uap energi surya
- b) Bersihkan permukaan dan pasang semua cermin pada posisi yang sudah disiapkan menggunakan baut, pastikan pemasangan baut tidak terlalu kencang agar nantinya mudah untuk diarahkan
- c) Siapkan alat ukur piranometer (alat ukur radiasi matahari), dan siapkan pula tabel untuk mencatat nilai yang terukur
- d) Longgarkan baut setiap cermin dan arahkan semua pantulan cermin ke boiler dan kuatkan kembali baut (jangan pegang bagian cermin saat menggeser posisi cermin, ini agar cermin tidak pecah)
- e) Lihat pembacaan piranometer setiap titik pada tabung dan catat ke dalam tabel hasil pengujian.
- f) Ulangi pengukuran setiap 1 jam sekali, dan mengatur posisi cermin dalam 15 menit agar pantulan tetap mengarah ke boiler .

3) Prosedur Pengujian Radiasi Tabung Tanpa Diisi Air

Prosedur pada tahap pengujian kedua ini adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan alat yang akan diuji.

- b) Bersihkan permukaan cermin dan pasang semua cermin pada posisi yang sudah disiapkan menggunakan baut, pastikan pemasangan baut tidak terlalu kencang agar nantinya mudah untuk diarahkan
- c) Siapkan alat ukur piranometer (alat ukur radiasi matahari), penggaris dan siapkan pula tabel untuk mencatat nilai yang terukur
- d) Longgarkan baut setiap cermin dan arahkan semua pantulan cermin ke boiler dan kuatkan kembali baut (jangan pegang bagian cermin saat menggeser posisi cermin, ini agar cermin tidak pecah)
- e) Kemudian lihat pembacaan setiap alat ukur dan catat hasil pengujian ke dalam tabel.
- f) Ulangi pengukuran setiap 1 jam sekali, dan mengatur posisi cermin dalam 15 menit agar pantulan tetap mengarah ke boiler .

4) Prosedur Pengujian Pemanasan Air pada Boiler

Prosedur pada percobaan ini adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan alat yang akan diuji yaitu alat pembangkit uap energi surya
- b) Bersihkan permukaan cermin dan pasang semua cermin pada posisi yang sudah disiapkan menggunakan baut, pastikan pemasangan baut tidak terlalu kencang agar nantinya mudah untuk diarahkan
- c) Siapkan alat ukur piranometer (alat ukur radiasi matahari), pembacaan termokopel, penggaris besi dan gelas ukur (untuk mengukur volume air yang masuk ke boiler). Siapkan pula tabel untuk mencatat nilai yang terukur.

- d) Isi boiler dengan air (pada pengujian ini air yang dimasukkan sebanyak 2 liter) kemudian tutup rapat (gunakan selotip pipa). Pastikan uap tidak keluar.
- e) Pasang setiap termokopel pada alat pembacaan suhu menggunakan obeng dan sambungkan alat ke sumber tegangan listrik (ada 3 termokopel yang terpasang dan pastikan pembacaan setiap termokopel sesuai dengan membedakan *channel* di alat)
- f) Longgarkan baut setiap cermin dan arahkan semua pantulan cermin ke boiler dan kuatkan kembali baut (jangan pegang bagian cermin saat menggeser posisi cermin agar cermin tidak pecah)
- g) Lihat pembacaan setiap alat ukur dan catat ke dalam tabel hasil pengujian. Ukur terlebih dahulu radiasi, suhu dan tekanan. Pengukuran volume dilakukan di akhir pengujian secara manual menggunakan penggaris
- h) Ulangi pengukuran setiap 1 jam sekali, dan atur posisi cermin dalam 15 menit sekali agar pantulan tetap mengarah ke boiler dan ukur kembali volume air dalam boiler dengan menggunakan penggaris manual, kemudian catat hasil pengukuran ke dalam tabel. Terakhir bersihkan kembali cermin dan lepas semua termokopel dari alat pembacaan suhu. Pastikan posisi cermin lurus terhadap boiler, ini agar cermin tidak terjatuh.

5) Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin

Adapun prosedur adalah sebagai berikut;

- a) Siapkan alat yang akan diuji dalam hal ini cermin yang terpasang

- b) Bersihkan permukaan dan pasang semua cermin pada posisi yang sudah disiapkan menggunakan baut, pastikan pemasangan baut tidak terlalu kencang agar nantinya mudah untuk diarahkan
- c) Siapkan alat ukur piranometer (alat ukur radiasi matahari),
- d) Lakukan pengukuran pada setiap cermin dalam 1 jam
- e) Catat hasil pengukuran cermin pada tabel yang telah di siapkan

4.2 Hasil Pengujian Alat

Untuk pengujian alat dilakukan selama 14 hari, adapun data hasil pengujian alat dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Nilai Emisivitas Cermin dengan Cermin dalam Keadaan Kotor dan Bersih

No	solar time (jam)	G1 (W/m ²)	G2 (W/m ²)	G3 (W/m ²)	*Emisitas cermin %	Nomor Cermin	ket
1	5458,07	1113.3	330.4	74	0.06	7	cermin dalam keadaan kotor
2	5458,12	901.3	180.8	97	0.10	6	
3	5458,17	1127.8	157.5	84	0,07	9	
4	5458,22	1084.3	181.1	67	0.06	10	
5	5458,27	1108.6	970.2	564	0.05	24	
6	5459,05	1119.7	1117.7	612	0.54	25	cerdalam keadaan bersih
7	5459,10	1210.2	1125.5	833	0.68	26	
8	5459,15	917	1121.5	834	0.90	27	
9	5459,20	1256.6	1415.1	793	0.63	28	
10	5459,25	1269.9	1189.5	540	0.45	29	

Rabu,5 Agustus 2020

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Boiler Tanpa di Isi Air dengan Alat Ukur Piranometer dengan 6 Titik Uji Coba

No	Solar Time (Jam)	G1 W/m ²	Radiasi Tabung (W/m)						G2 W/m ²	G3 W/m ²	Emisitas Cermin %	Nomor Cermin
			titik 1	titik 2	titik 3	Titik 4	Titik 5	titik 6				
1	5675	1114.6	460	389.4	675.7	616.4	475.6	401	346	429	0.38	3
2	5676	1120	495	507.4	1536	1475.3	604.4	535	986	522	0.46	20
3	5677	1207.9	512	621.1	1588	1528.7	986.9	795	1001.3	800	0.66	7
4	5678	1249.1	529	917.3	1771	1621	1130	112	1123.5	971	0.73	7

Jumat, 14 Agustus 2020

Tabel 4.3 Pengujian Boiler Tanpa Diisi Air (Mengukur Pemanasan Tabung dengan Alat Ukur Pico Teknologi pada 3 Titik)

No	solar time (jam)	G1 (W/m ²)	suhu tabung (°c)			G2 (W/m ²)	*Qin (Kj)
			T1	T2	T3		
1	5770	1012.8	92.92	111.5	99.69	425	19108.22
2	5771	1202.6	99.84	114.56	109	876	19111.7
3	5772	1206.8	104.27	115.98	113.45	975	19115.1
4	5773	1248.1	109.53	120.54	114.58	1213.5	19118.6
5	5774	1232.1	109.02	120.18	114.74	1201.4	19122.0
6	5775	1111.4	102.5	115.99	111.18	1182.5	19126

Selasa, 18 Agustus 2020

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Boiler dengan di isi air

No	Solar Time	G1 W/m ²	Suhu tabung (°C)			G2 W/m ²	Tekanan uap (Bar)	Q _{in} kj	Q _{out} kj	Efisiensi %
	(Jam)		T1	T2	T3					
1	5842	1016	86,46	85,45	89,04	565	0,02	35,11	-	-
2	5843	1126	90	90,43	91,07	780,8	0,73	38,92	-	-
3	5844	1224	93,89	94,26	101,01	913,5	0,83	42,29	6,42	15,18
4	5845	1278	108,2	99,95	103,04	998,2	1,01	44,15	7,22	16,35
5	5846	1287	101,9	100,04	113,41	1193	1,06	44,47	7,7	17,32
6	5847	1290	102,1	103,11	116,97	1651	1,16	44,58	6,99	15,68

Jumat, 21 Agustus 2020

Tabel 4.5. Data Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin tanggal 20 Agustus 2020

No	solar time Jam	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5818	674	664	871	869	864	1006.9	920.2	1078	963.3	914.6
2	5820	885	905	1027	979	907	1076.4	970.9	1130	1157	1162
3	5822	821	675	687	551	646	736.5	811	832	985.8	962

Lanjutan tabel 4.5.1

No	solar time Jam	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5818	942	852	749	701	803	626.6	858.6	885	808.4	791.5
2	5820	1113	1101	1067	967	942	864.4	1070	940	968.6	1039
3	5822	992	858	856	850	825	921	747.1	774	528.9	691.7

Lanjutan tabel 4.5.1

No	solar time (Jam)	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	5818	664	811	998	1012	1013	1020.4	1014	1029	869.4	679.8
2	5820	1073	1008	1083	1086	1114	1110.9	1123	1132	987.8	953.4
3	5822	685	945	845	958	905	1021.7	973.9	941	939.9	924.9

Lanjutan tabel 4.5.1

No	solar time	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)		radiasi Tabung
	(Jam)	31	32	(W/m ²)
1	5818	664.4	844.8	583.3
2	5820	1021.4	1031.3	998.2
3	5822	915.6	902.4	1431.4

Tabel 4.5.2 Data Pengujian Radiasi pada Setiap Cermin Tanggal 20 Agustus 2020

No	solar time	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
	(Jam)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5719	861	812	980	941	981	1070.8	957.2	1022	1024	1012
2	5721	973	898	1013	914	809	886.9	753.3	942	1036	1035
3	5723	808	850	784	878	901	845	911.4	808	849.6	1034

Lanjutan Tabel 4.5.2

No	solar time (Jam)	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
	Jam	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	5719	976	970	864	780	913	893.9	983.2	821	871.3	997
2	5721	1016	1078	1064	917	1014	894.9	1026	891	862.5	975.8
3	5723	923	965	1042	935	1046	876.2	971	736	852.1	843

Lanjutan Tabel 4.5.2

No	solar time (Jam)	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)									
	Jam	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	5719	1017	926	1003	1003	1006	1016.8	1025	877	817.2	822.8
2	5721	997	770	850	926	1015	1011.3	1046	1055	942.3	988.5
3	5723	965	754	778	821	888	889.3	921	888	838	963.7

Lanjutan Tabel 4.5.2

No	solar time (Jam)	intensitas matahari pada cermin (W/m ²)		radiasi Tabung (W/m ²)
	Jam	31	32	
1	5719	870.3	880	805.8
2	5721	1084	1063.3	924
3	5723	973.1	912.3	877.2

Sabtu, 29 Agustus 2020

Data Tambahan :

1. Volume air dalam boiler 2 liter
2. Massa jenis air 1000 kg/m³
3. Massa air 6.4 kg
4. Total luasan cermin 0.03 m³ x 32 buah = 0.96 m³
5. Tebal dinding boiler 2 mm

Keterangan Tabel:

G1 = Radiasi Matahari

G2 = Radiasi yang diterima permukaan boiler

G3 = Radiasi yang diterima permukaan cermin

T1 = Suhu udara (uap) didalam boiler

T2 = suhu air dalam boiler

T3 = suhu permukaan cermin bagian luar

* = Data hasil perhitungan

4.2.1 Perhitungan Data

Perhitungan Solar Time (Jam)

Contoh perhitungan solar time pada tabel 4.4 pada data No. 1 yaitu pada jam Solar Time 5842 pada tanggal 21 Agustus 2020 pada pukul 10 pagi.

Dik :	Bulan Januari	= 31 hari = 31 x 24 jam	= 744 jam
	Bulan Februari	= 29 hari = 29 x 24 jam	= 936 jam
	Bulan Maret	= 31 hari = 31 x 24 jam	= 744 jam
	Bulan April	= 30 hari = 30 x 24 jam	= 720 jam
	Bulan Mei	= 31 hari = 31 x 24 jam	= 744 jam
	Bulan Juni	= 30 hari = 30 x 24 jam	= 720 jam
	Bulan Juli	= 31 hari = 31 x 24 jam	= 744 jam
	Bulan Agustus (tanggal 1 – 21 pukul 10 pagi)	= 490 jam	<hr/>
	Total		= 5842 jam

Jadi, jam Solar Time pada tanggal 21 Agustus 2020 pukul 10 pagi jatuh pada jam ke 5842.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya mengenai teknik analisis data , adapun parameter yang perlu diukur adalah Emisitas Cermin (ϵ) Energi Input (Q_{in}) Energi Output (Q_{out}) dan nilai efisiensi alat (η). Pada pengujian pertama untuk menentukan kemampuan cermin dalam menerima dan memantulkan cahaya , maka dapat dihitung nilai emisivitas (ϵ) yang dalam hal ini nilai efisiensi cermin, yakni sebagai berikut :

1) Nilai Emisitas Cermin

$$\epsilon = \frac{G_3}{G_1} \times 100\%$$

Ket: ϵ = emisivitas Cermin (%)

G_1 = Radiasi Matahari yang Diterima Permukaan Cermin (W/m^2)

G_3 = Radiasi Matahari yang Dipantulkan Permukaan Cermin (W/m^2)

Untuk contoh perhitungan diambil data pada Tabel 4.1 nomor cermin 27 untuk solar time 5113,15 yang dapat dilihat sebagai berikut:

- $G_1 = 834 \text{ W/m}^2$
- $G_3 = 917 \text{ W/m}^2$

$$\epsilon = \frac{917}{834} \text{ W/m}^2 \times 100 \% = 1.09 \%$$

Untuk hasil perhitungan data yang lain selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1

Untuk perhitungan nilai parameter selanjutnya diambil contoh pada tabel 4.4 Data ke-6 pada solar time pengambilan data yaitu 5847. Ada pun data data yang di peroleh adalah:

1. Radiasi matahari = 1290 W/m^2
2. Suhu air = $103.11 \text{ }^\circ\text{C}$
3. Suhu udara (uap) = $102.1 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Suhu permukaan tabung bagian luar = $116.97 \text{ }^\circ\text{C}$
5. Luasan cermin = 0.96 m^2
6. Waktu = 1 jam = 3600 detik
7. Kondensasi uap = $3.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

2) Nilai Energi Input

Energi input dari alat ini adalah besar radiasi yang diterima permukaan cermin,
maka:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= (G1 \times A)t \\ &= (1.290 \text{ W/m}^2 \times 0.96 \text{ m}^2) \times 21.600 \text{ s} \\ &= 26.749.440 \text{ joule} = 26.749 \text{ kJ} \end{aligned}$$

3) Nilai Energi Output

Energi output dari alat ini adalah besar energi uap yang di hasilkan didalam Boiler, maka:

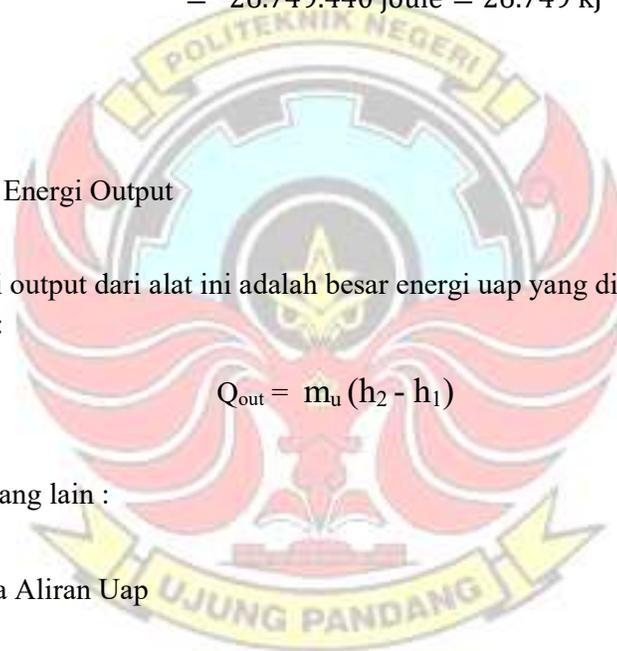
$$Q_{out} = m_u (h_2 - h_1)$$

Untuk nilai yang lain :

- Massa Aliran Uap

$$m_u = \text{jumlah kondensasi Uap} \times \rho_{air}$$

$$\begin{aligned} m_u &= 3.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3.4 \times 10^{-3} \text{ kg} \end{aligned}$$



- Nilai Entalphi

Untuk nilai tekanan uap 1.06 Bar, dengan mengiterpolasi data berdasarkan tabel A-2 *Properti of saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table*.

Maka di dapat nilai $h_1=h_f= 404.91$ kJ/kg dan nilai $h_2=h_g= 2670$ kJ/kg

$$Q_{out} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ kg} (2670 \text{ kJ/kg} - 404.91 \text{ kJ/kg}) = 7.70 \text{ KJ}$$

*Catatan: mencari nilai h_f dan h_g pada tabel A-2 *Properti of saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table*. Yaitu dengan cara interpolasi.

Untuk Nilai Entalphi berdasarkan suhu, selanjutnya diambil contoh pada tabel 4.4 data ke-6 dengan solar time 5847 jam, diketahui suhu pada alat sebesar $103,11^\circ\text{C}$. Berdasarkan tabel A-4 *Saturated water-temperature table*, maka entalphi yang di peroleh yaitu sebesar 432.300 kJ/kg.

- Nilai Q_{out} berdasarkan rumus $Q_{out} = m.C_{p_{air}}. \Delta T$

$$Q_{out} = m.C_{p_{air}}. \Delta T$$

$$Q_{out} = (6.400 \text{ gram}) (1,005 \text{ Kj/kg.K}) (103,11^\circ\text{C} - 32^\circ\text{C})$$

$$Q_{out} = 6,4 \text{ kg} \times 1,005 \text{ Kj/kg.K} \times 71,11 \text{ K}$$

$$Q_{out} = 457 \text{ Kj}$$

Berdasarkan rumus $Q_{out} = m.C_{p_{air}}. \Delta T$. Maka nilai Q_{out} yang di peroleh yaitu sebesar 457 kJ

- 4) Nilai Efisiensi

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{457 \text{ kJ}}{26.749 \text{ kJ}} \times 100\% = 1.71\%$$

- Perbandingan jumlah kaca dan luas cermin pada penelitian Malik, dan maharani pada tahun 2019 dan penelitian pada tahun 2020

- Untuk jumlah cermin

Penelitian Malik, dan maharani pada tahun 2019 yaitu 24 buah

Penelitian pada tahun 2020 yaitu 32 buah

Perbandingan jumlah cermin, yaitu dapat di hitung sebagai berikut :

$$\frac{\text{Jumlah cermin penelitian yang dilakukan tahun 2020}}{\text{Jumlah cermin penelitian malik, dan maharani 2019}}$$

$$= \frac{32 \text{ buah}}{24 \text{ buah}} = \frac{4}{3}$$

Jadi Perbandingan jumlah cermin pada penelitian pada tahun 2020 dan penelitian malik dan maharani pada tahun 2019 yaitu 4 : 3

- Untuk luasan cermin

Penelitian Malik, dan maharani pada tahun 2019 yaitu $0.06 \text{ m}^2 \times 24 \text{ buah} = 1.44 \text{ m}^2$

Penelitian pada tahun 2020 yaitu $0.03 \text{ m}^2 \times 32 \text{ buah} = 0.96 \text{ m}^2$

Perbandingan = $\frac{\text{luasan cermin penelitian yang dilakukan tahun 2020}}{\text{luasan cermin penelitian malik, dan maharani 2019}}$

$$= \frac{0.96 \text{ m}^2}{1.44 \text{ m}^2}$$

Jadi Perbandingan jumlah cermin pada penelitian pada tahun 2020 dan penelitian malik dan maharani pada tahun 2019 yaitu 0.96 : 1.44

- Menghitung kenaikan Presentase suhu, tekanan dan efisiensi pada penelitian Malik dan maharani pada tahun 2019 dan penelitian pada tahun 2020.

- Untuk nilai presentase suhu, dapat di hitung sebagai berikut:

Misalkan :

t: Suhu (°c)

y : Nilai suhu rata-rata pada penelitian Malik dan Maharani pada tahun 2019, yaitu sebesar 76.71°c

z : Nilai suhu rata-rata pada penelitian 2020, yaitu sebesar 95.54 °c

Maka:

$$t = \frac{Y}{Z} \times 100 \% = \frac{76.71 \text{ } ^\circ\text{c}}{95.54 \text{ } ^\circ\text{c}} \times 100 \% = 80.29 \%$$

- Untuk nilai presentase tekanan, dapat di hitung sebagai berikut:

Misalkan :

P : Tekanan (bar)

Q : Nilai tekanan rata-rata pada penelitian Malik dan Maharani pada tahun 2019, yaitu sebesar 0.24 bar

R : Nilai tekanan rata-rata pada penelitian 2020, yaitu sebesar 0.8 bar

Maka:

$$P = \frac{Q}{R} \times 100 \% = \frac{0.24 \text{ bar}}{0.8 \text{ bar}} \times 100 \% = 30 \%$$

- Untuk nilai presentase efisiensi, dapat di hitung sebagai berikut:

Misalkan :

η : Effisinesi (%)

A : Nilai Effisinesi rata-rata pada penelitian Malik dan Maharani pada tahun 2019, yaitu sebesar 2.98 %

B : Nilai tekanan rata-rata pada penelitian 2020, yaitu sebesar 0.8 bar

Maka:

$$\eta = \frac{A}{B} \times 100 \% = \frac{2.98 \%}{16,13 \%} \times 100 \% = 18.47 \%$$

- Prediksi Pengembangan

Misalkan :

n = jumlah cermin (buah)

t = suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Dik : 32 buah cermin = 103,11 $^{\circ}\text{C}$

Dit : Berapa suhu yang di hasilkan jika menggunakan cermin sebanyak 50 buah ?

Peny :

$$\frac{t}{n} = \frac{\text{suhu cermin}}{\text{jum cermin}} = \frac{103,11^{\circ}\text{C}}{32 \text{ buah}} = 3.22^{\circ}\text{C}$$

Tiap cermin menghasilkan suhu sebesar 3.22 $^{\circ}\text{C}$. Sehingga jika alat ini di kembangkan menggunakan caermin sebanyak 50 buah dengan luasan yan sama, maka dapat di hitung sebagai berikut

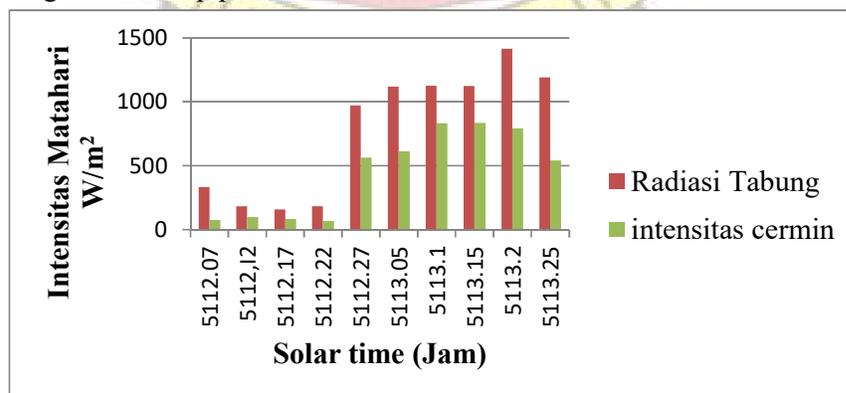
Jumlah cermin (n) x besar suhu cermin (t) = 50 buah x 3.22 $^{\circ}\text{C}$ = 161 $^{\circ}\text{C}$

Jadi besar suhu yang di hasilakan jika menggunakan cermin sebanyak 50 buah,yaitu sebesar 161 °c. dengan menginterpolasi suhu pada tabel A-2 *properti of saturated water (liquid-vapor): temperature tabl*, maka didapat tekanan uap sebesar 6.3 bar.

5.3 Deskripsi Hasil Kegiatan

4.3.1 Penggunaan Cermin sebagai Reflektor

Untuk melihat bagaimana penggunaan cermin sebagai reflector, kemampuan cermin dapat dibandingkan dalam menerima dan memantulkan cahaya. Pada perancangan alat pembangkit uap energi surya ini, jenis cermin yang digunakan adalah cermin datar. Pada teori emisivitas cermin datar hanya berkisaran 0,1-0,2% saja, artinya cermin datar hanya mampu memantulkan cahaya 80-90% dari cahaya yang di terima . Berikut grafik yang menunjukkan besar penerimaan cahaya pada cermin dan besar radiasi pada tabung untuk setiap perubahan waktu.

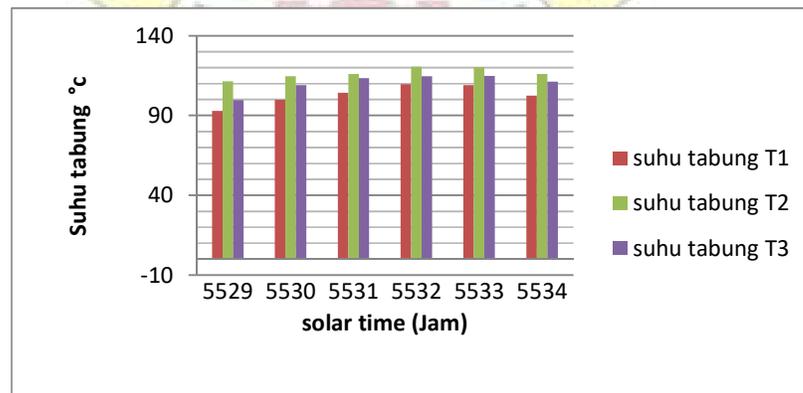


Gambar 4.5 Grafik Nilai Emisivitas Cermin dan Nilai Radiasi Tabung untuk Setiap Perubahan Waktu

Pada Grafik 4.4., terlihat nilai emisivasi cermin cenderung berubah-ubah begitupun dengan nilai radiasi pantulan cermin yang diterima tabung (radiasi tabung). Nilai emisivitas cermin tidak konstan dan berubah-ubah, hal ini dipengaruhi oleh perubahan waktu yang mana di setiap terjadi perubahan waktu, posisi matahari akan berpindah. Akibatnya, pemfokusan cahaya pantulan pada cermin ke boiler menjadi berkurang. Adapun nilai radiasi tabung tidak konstan dan berubah-ubah. Hal ini dipengaruhi oleh besar kecilnya pantulan radiasi cermin ke boiler.

4.3.2 Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung Belum Diisi Air

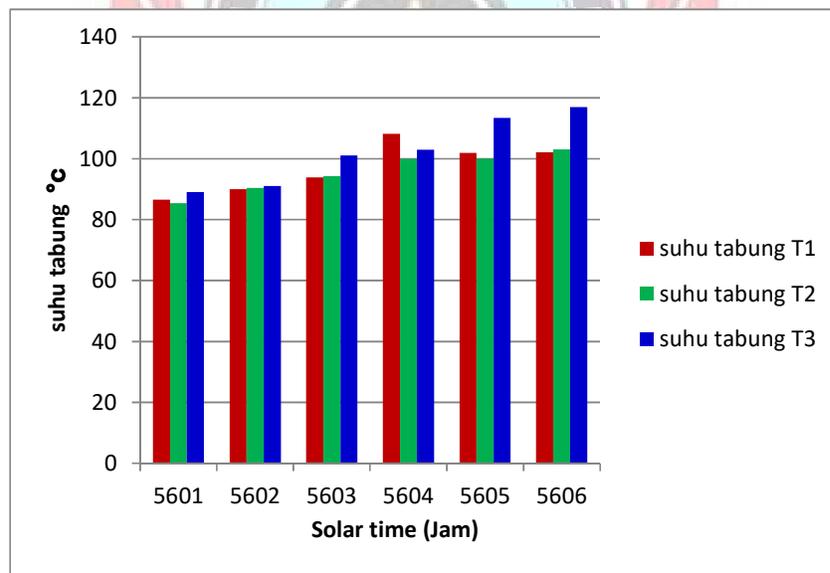
Berdasarkan hasil pengujian alat, suhu tabung tertinggi yaitu berada di suhu tabung bagian dalam (T2). Suhu tertinggi tabung selanjutnya yaitu berada di suhu dinding tabung bagian atas (T3) dan suhu terendah pada tabung yaitu berada pada dinding tabung bagian tengah (T1). Perubahan suhu tabung yang bervariasi ini dipengaruhi oleh besar kecilnya radiasi pantulan cermin yang diterima oleh tabung.



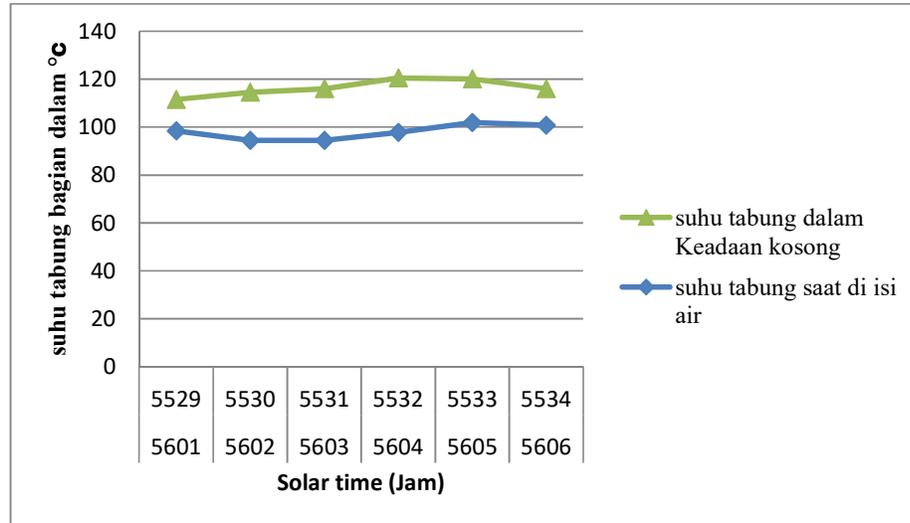
Gambar 4.6 Grafik Nilai Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung dalam Keadaan Kosong.

4.3.3 Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung Diisi Air

Berdasarkan hasil pengujian alat, saat tabung diisi air, keadaan suhu berubah-ubah dan tidak konstan. Perubahan suhu tabung yang bervariasi ini dipengaruhi oleh besar kecilnya radiasi pantulan cermin yang diterima oleh tabung. Oleh karena itu, di setiap perubahan waktu, keadaan suhu pada tabung pun berubah-ubah. Pada grafik 4.6, terlihat bahwa suhu dinding tabung yang terkena sinar matahari (T1) mengalami perubahan suhu pada setiap waktu, suhu dinding tabung tertinggi yaitu terjadi pada solar time 5604 dengan suhu 108,17 °c sedangkan suhu air didalam tabung (T2) mengalami kenaikan yang signifikan di setiap perubahan waktu begitu pun dengan suhu udara di dalam tabung (T3).



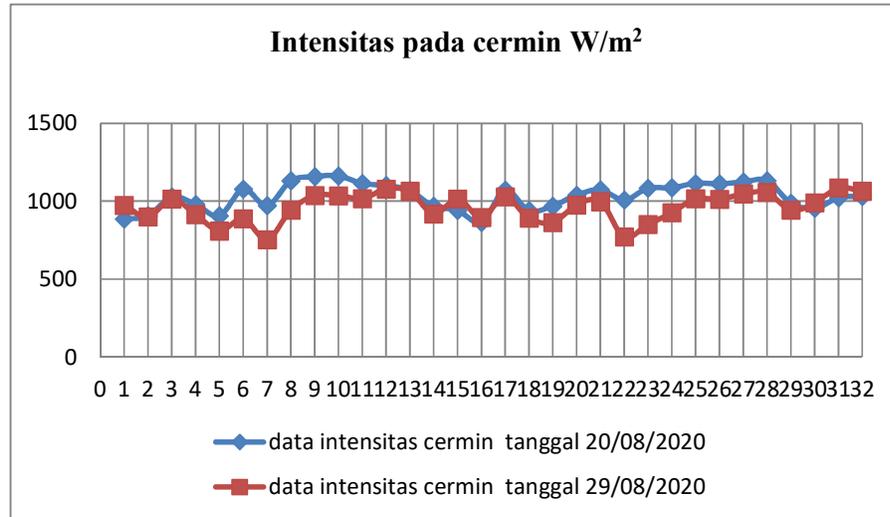
Gambar 4.7 Grafik Nilai Besar Perubahan Suhu pada Tabung saat Tabung Diisi Air



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Suhu pada Tabung Bagian Dalam

Grafik di atas menunjukkan bahwa suhu pada tabung bagian dalam saat tabung diisi air lebih rendah dibandingkan dengan suhu tabung bagian dalam sebelum tabung diisi air, hal ini disebabkan karena saat tabung belum diisi air, suhu pada tabung tidak mengalami penurunan. Namun, pada saat tabung diisi air, panas tabung mengalami penurunan karena sebagian suhu di dalam tabung diserap oleh air yang terdapat di dalam tabung. Suhu yang diserap air digunakan untuk memanaskan air itu sendiri

4.3.3 Perubahan Radiasi pada Setiap Cermin

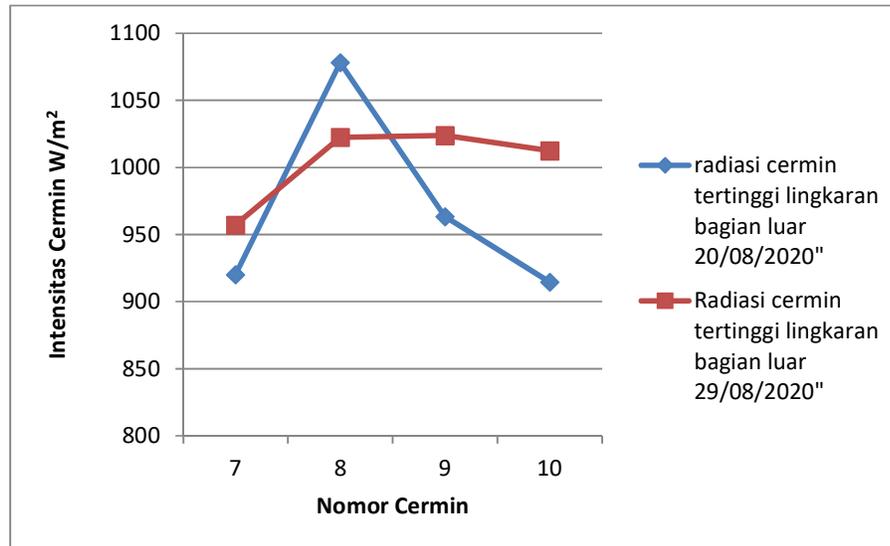


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Perubahan Radiasi Setiap Cermin pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan tanggal 29 Agustus 2020

Pada grafik di atas, terlihat radiasi cermin berubah-ubah. Hal ini dikarenakan setiap cermin mendapat radiasi matahari yang berbeda-beda dan pada setiap waktu, posisi matahari akan berubah-ubah. hal ini dapat menimbulkan radiasi matahari yang diterima oleh cermin berbeda-beda. Radiasi cermin pada tanggal 20 Agustus 2020 lebih tinggi dari pada radiasi cermin pada tanggal 29 Agustus 2020. Hal ini disebabkan karena penyinaran matahari pada tanggal 29 Agustus 2020 mulai berkurang.

4.3.5 Perbandingan Radiasi Permukaan Cermin Tertinggi pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan pada Tanggal 29 Agustus 2020

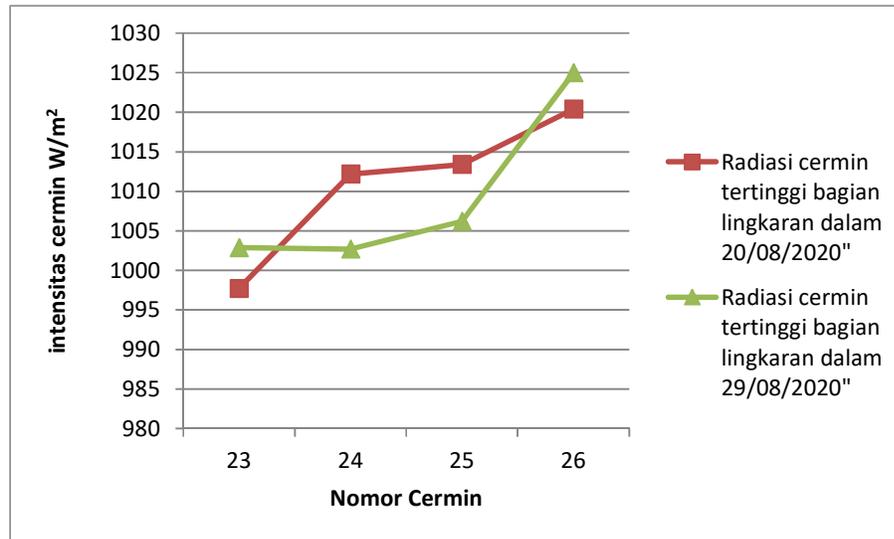
4.3.5.1 Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin Berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin berada di Lingkaran Bagian Luar pada Alat

Grafik di atas memperlihatkan nilai radiasi pada cermin tidaklah konstan. Hal ini dipengaruhi oleh besar kecilnya radiasi matahari yang ditangkap oleh luas permukaan cermin. Pada pengambilan data dengan nomor cermin yang sama, nilai radiasi cermin paling tinggi yaitu berada pada nomor cermin ke-8. Penyebab nomor cermin ke-8 memiliki radiasi tertinggi yaitu dikarenakan radiasi matahari lebih terpusat pada cermin no 8 ketimbang dengan nomor cermin lainnya.

4.3.5.2 Perbandingan radiasi cermin tertinggi pada posisi cermin berada di lingkaran bagian dalam pada alat

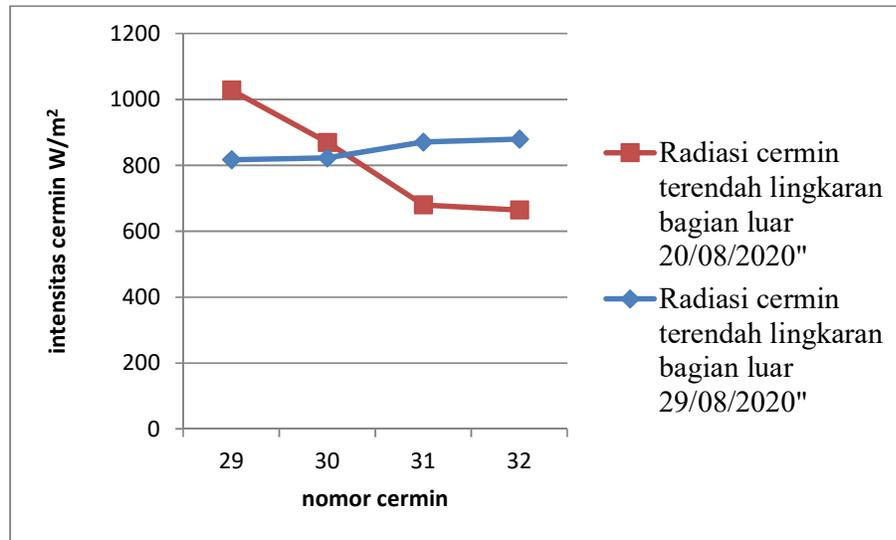


Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Radiasi Cermin Tertinggi pada Posisi Cermin berada di Lingkaran Bagian Dalam pada Alat

Grafik di atas memperlihatkan bahwa cermin dengan radiasi terendah adalah berada pada cermin no.23 dan cermin dengan radiasi tertinggi adalah berada pada cermin no. 26. Besar kecil radiasi pada cermin itu tergantung besar kecilnya radiasi matahari yang mengenai bagian permukaan pada cermin.

4.3.6 Perbandingan Radiasi Permukaan Cermin Terendah pada Tanggal 20 Agustus 2020 dan pada Tanggal 29 Agustus 2020

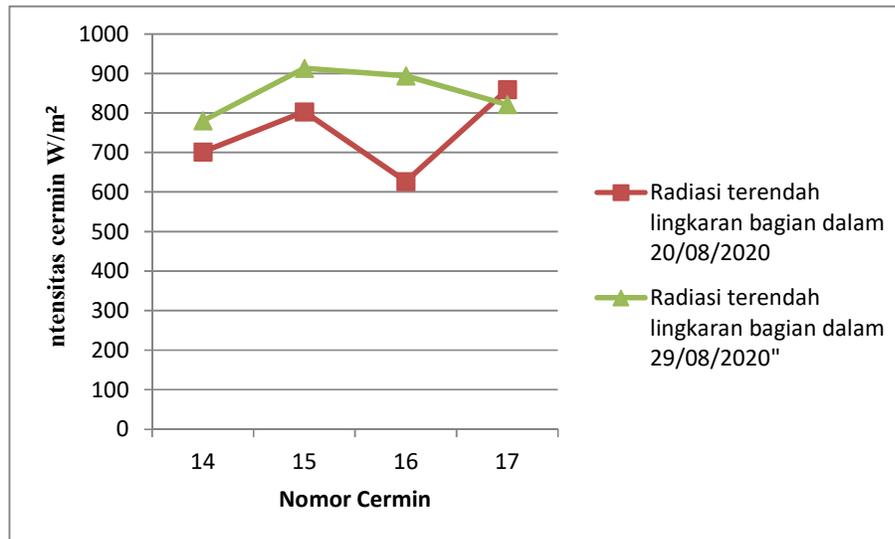
4.3.6.1 Perbandingan radiasi cermin terendah pada posisi cermin berada di lingkaran bagian luar pada alat



Gambar 4.12 Grafik perbandingan radiasi cermin terendah pada posisi cermin berada di lingkaran bagian luar pada alat

Pada grafik di atas, dapat diketahui bahawa nilai terendah radiasi cermin pada tanggal 20 Agustus 2020 dan nilai radiasi terendah pada tanggal 29 Agustus 2020 tidak sama. Nilai radiasi cermin terendah pada tanggal 20 Agustus 2020 yaitu berada pada cermin nomor 32 dan nilai terendah radiasi pada tanggal 29 Agustus 2020 yaitu berada pada cermin no 29. Perbedaan radiasi yang dialami cermin itu bergantung pada penyinaran radiasi matahari terhadap setiap permukaan cermin. Semakin besar radiasi matahari yang diterima permukaan cermin. Maka nilai radiasi cermin akan semakin meningkat.

4.3.6.2 Perbandingan radiasi cermin terendah pada posisi cermin berada di lingkaran bagian dalam pada alat



Gambar 4.13 Grafik perbandingan radiasi cermin terendah pada posisi cermin berada di lingkaran bagian dalam pada alat

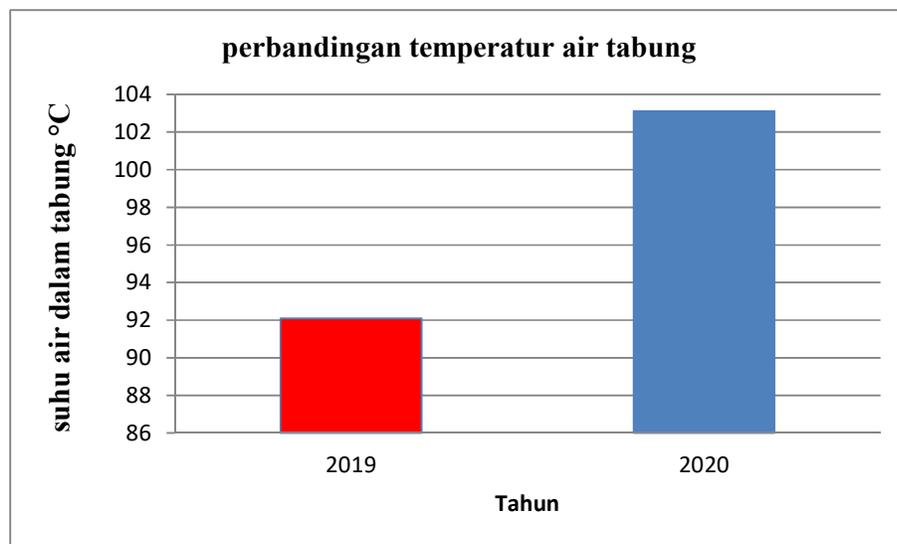
Grafik di atas menunjukkan perbandingan radiasi cermin terendah pada posisi cermin berada di lingkaran dalam pada alat. Suhu radiasi cermin terendah pada tanggal 20 Agustus yaitu berada pada radiasi cermin no 16 sedangkan nilai radiasi cermin terendah pada tanggal 29 Agustus 2020 berada pada radiasi cermin no 14.

4.3.7 Perbandingan Suhu dan Tekanan pada Alat Tahun 2019 dan Tahun 2020

4.3.7.1 Perbandingan Suhu pada Alat

Pada alat pembangkit uap energi surya penelitian Malaik dan Maharani 2019 jumlah cermin yang digunakan sebagai reflektor yaitu berjumlah 24 buah dan suhu tertinggi yang dihasilkan oleh alat tersebut yaitu sebesar 93.1°C . Pada pengembangan alat yang dibuat, jumlah cermin yang digunakan sebagai

reflektor yaitu berjumlah 32 buah dan suhu tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 103.11 °c. Prediksi pengembangan kedepan pada alat ini dengan menggunakan cermin berjumlah 50 buah maka, hasil temperatur akan semakin meningkat. Pada analisis yang dilakukan jika menggunakan 50 buah cermin maka temperatur yang di hasilkan makin meningkat pula yaitu sebesar 161°c.



Gambar 4.14 Grafik perbandingan suhu air yang dihasilkan alat pada penelitian Malik dan Maharani 2019 dan tahun 2020.

4.3.7.2 Perbandingan Tekanan pada Alat

Pada alat pembangkit uap penelitian Malik dan Maharani 2019 tekanan tertinggi yang dihasilkan yaitu sebesar 0.3 bar. Pada pengembangan alat ini, tekanan uap yang dihasilkan yaitu sebesar 1,16 bar. Tekanan uap ini diperoleh melalui analisis data dengan melihat temperatur yang dihasilkan alat dan melakukan perhitungan dengan cara interpolasi dengan melihat nilai pada tabel A-

2 *Properti of saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table.* Pada suhu 103.11°c , maka diperoleh nilai tekanan sebesar 1.16 bar.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Tekanan Uap yang Dihasilkan Alat pada Tahun penelitian Malik dan Maharani 2019 dan Tahun 2020.

Semakin tinggi suhu yang dihasilkan pada alat maka tekanan uap dalam boiler juga akan mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena nilai suhu berbanding lurus dengan nilai tekanan. Jika pada alat ini di kembangkan dengan menggunakan cermin sebanyak 50 buah, dengan hasil analisi suhu sebesar 161°c . maka prediksi hasil tekanan uap pada boiler semakin meningkat pula yaitu sebesar 6.3 bar.

Kendala-kendala

Adapun Kendala kendala yang kami alami dari perakitan alat sampai pembuatan laporan, yaitu sebagai berikut :

- 1) Adanya pandemi virus COVID-19 yang mengakibatkan susahny masuk kampus dalam membuat alat
- 2) Adanya alat dan bahan yang susah ditemukan karena toko bangunan kebanyak tutup
- 3) Keterbatasan persediaan alat dikampus (alat ukur Piranometer dan Pico technology)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- 1) Cara meningkatkan temperatur air di dalam *boiler* pada alat yang dikembangkan adalah dengan menambahkan cermin sebagai reflektor dan melakukan pengecatan warna hitam pada bagian dalam *boiler*. Pada alat pembangkit uap sebelumnya, cermin sebagai reflektor yang digunakan berjumlah 24 buah, pada pengembangan alat pembangkit uap cermin yang digunakan sebagai reflektor berjumlah 32 buah. Selain melakukan penambahan cermin pada alat, pemfokusan cermin terhadap *boiler* selalu diperhatikan dan diatur dalam 15 menit sekali. Hal ini bertujuan untuk memfokuskan radiasi cermin agar tepat mengenai permukaan *boiler*.
- 2) Setelah melakukan pengembangan alat, suhu tertinggi air pada alat ini adalah sebesar 103.11 °c. Suhu air yang dihasilkan alat ini lebih tinggi dari suhu air yang dihasilkan dari alat sebelumnya. Suhu air tertinggi pada alat sebelumnya yaitu sebesar 92.1 °c. Ada pun besar tekan uap yang dihasilkan alat sebelumnya yaitu sebesar 0.3 bar. Setelah melakukan pengembangan, tekanan uap yang dihasilkan yaitu sebesar 1,16 bar.
- 3) Nilai efisiensi maksimal dari alat pembangkit uap energi surya pada Alat sebelumnya yaitu 8% dan efisiensi terendah yaitu di bawah 1%. Setelah dilakukan pengembangan, efisiensi tertinggi pada alat adalah sebesar 17.32% dan nilai efisiensi terendah adalah sebesar 15.18%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil kegiatan, maka untuk penelitian selanjutnya diperlukan *Tracker* otomatis untuk digunakan pada cermin agar penerimaan cahaya pada cermin lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Australian Broadcasting Corporation. 2020. Solar Thermal Plant in Dubai, (online). (<https://www.abc.net.au/news/2019-04-09/solar-thermal-plant-in-dubai-1/10983214>). Diakses 19 Januari 2020.
- Anonym. 2018. Pengkalsifikasian Boiler pada Uji Praktek. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- [Energi.gov.2020: Power Tower System Concentrating solar power basic \(online\).](https://www.energy.gov/eere/solar/articles/power-tower-system-concentrating-solar-power-basics) <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/power-tower-system-concentrating-solar-power-basics> . di akses pada 19 Januari 2020.
- Fisikabc. 2015. Teori Tentang Cahaya dan Alat Optik, (Online), (<http://www.fisikabc/alatoptik/>), diakses 25 Desember 2019.
- Holman, J.P. 1983. *Heat Transfer Sixth Edition*. London: McGraw Hill
- Ivan,Shamkow. 2019: Fitch downgrades Genesis Solar trust Following News, (online).Diakses (<https://renewablesnow.com/news/fitch-downgrades-genesis-solar-trust-certificates-following-pge-news-639834/>). Diakses 24 Januari 2020.
- Ishak, Muhammad. 2007. *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Jansen, Ted J. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita, Cet. 1.
- Kreith, Frank. 1944. Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas. Jakarta : Erlangga, cet 4.
- Muin, A. Syamsir. 1998. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Edisi Pertama. Jakarta: Penerbit CV. Rajawali.
- Malik,Abd., dan Shelomitha Maharani. 2019. Rancang Bangun Alat Pembangkit Tenaga Surya. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Muslinawati, 2015, Penggunaan Alat Peraga Alat Optik untuk Meningkatkan Hasil Belajar Pemantulan Cahaya pada Siswa VII. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- National Renewable Energy Laboratory. 2016. National Solar Thermal Power Facility, (Online), (<http://www.nrel.gov/solarthermal/>), diakses 21 Desember 2019.

- PLN. 2007. *Teknologi Operasi PLTU*. Suralaya: PT. PLN (Persero) Jasa Diklat Unit Pendidikan dan Pelatihan Surya.
- Setiawan, Arif., dkk. 2015. Analisis Penggunaan Cermin Cekung, Cermin Datar dan Kombinasi Cermin Cekung-Datar untuk Meningkatkan Daya Keluaran pada Sel Surya. Laporan Hasil Penelitian. Semarang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.
- Sitompol, Darwin. 1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama,.
- Sireger dan Sanggam Martulus.2015. Analisa Kerugian Panas pada Ketel Uap Pipa Air Di Pks Ptpn Iv Kapasitas 20Ton/Jam. Laporan Hasil Penelitian. Medan: Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan.
- Trell. 2020. India one Thermal Power Plant.(online), (<https://trell.co/tale/india-one-solar-thermal-power-plant-rajat-rawlani-0ad52a565fa>. Diakses 19 Januari 2020).
- U.S. Energi Information Administration. 2019. Solar termal power plant, (online), <http://www.eia.gov/energyexplained/>, diakses 29 Januari 2020.
- Yohana, Eflita, dan Akshabulyamin. 2012. *Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler, EBARA HKL 1800KA*. Jurnal Teknik Mesin, 14:7-10.



L

A

M

P

I

R

A

N



Lampiran 1. Tabel A-2 *Properti of saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table.*

720 Tables in SI Units

TABLE A-2 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

TABLE A-2 (Continued)

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
50	1.235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	1.576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	1.994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	2.503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	3.119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	3.858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	4.739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	5.783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	7.014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	8.455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

Source: Tables A-2 through A-5 are extracted from J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.

H₂O

Lampiran 2. Tabel A-4 saturated Water - Temperature Table.

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table

Temp., T °C	Sat. press., P _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
		Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1896	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2555
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8295
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6695	7.6812
80	47.414	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5455	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4269	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.3133	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.2047	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.1010	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9919	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8893	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7929	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6913	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.5956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.5019	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.4090	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.3190	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.2319	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.16	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9032	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Lampiran 3 Dokumentasi Perancangan Alat



Gambar 1. Proses pengeboran pada rangka alat



Gambar 2. Proses pengecatan pada rangka alat



Gambar 3 Proses pengelasan boiler drum pada rangka alat



Gambar 4. Proses pengeleman cermin pada rangka cermin

Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian Alat



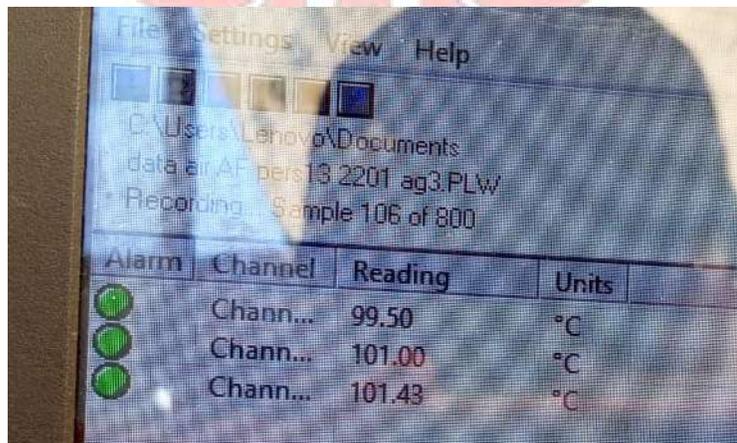
Gambar 1. Proses pengambilan data menggunakan labtop



Gambar 2. Proses pengaturan pantulan radiasi cermin di fokuskan pada boiler



Gambar 3. Pembacaan Radiasi Matahari

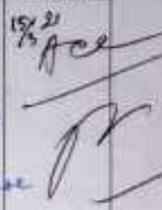
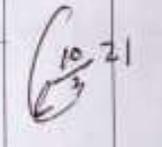
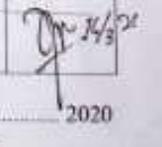


Gambar 4. Pembacaan Suhu

LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN
 UJIAN SIDANG LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : *Apri Rahmadani* NIM : 342 17 036
 NIM : *Wahyudelen* NIM : 342 17 027

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
	<i>Suryato</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Ketahanan gelas kaca 2. Bandwidth luas kaca & gelas 2019 & 2020 3. Hitung kembali presentase buluh, tekan, efisiensi 4. Prediksi jupabunga. 	<p>15/3/21</p> 
	<i>Vipin</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Spesifikasi perbedaan dgn 3 kelompok. 2. Perambatan pemulsa dan injeksi puitika & tabel 3. flow chart secara tabel 4. Kerdala? 	<p>10/3/21</p> 
	<i>Lande</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Perambatan Hk & Kcm. 2. Contoh hitung dan buluh 3. Analisis data. 4. Pengaruh 5. Analisis berdasarkan buluh 	<p>10/3/21</p> 
	<i>Danal</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Kerdala energi 2. cek efisiensi 3. bandingkan dgn & impact. 4. Analisis Data. 	<p>10/3/21</p> 

Makassar, 2020
 Sekretaris Penguji

Lande Kera

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.