

**PENGUJIAN EFEKTIVITAS *HEATER* MESIN *STIRLING*  
mCHPSE-012021**

**SKRIPSI**

**ISKANDAR ZULKARNAIN ROKAN  
188130161**



**PROGAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2024**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 25/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)25/3/24

## HALAMAN JUDUL

# PENGUJIAN EFEKTIVITAS *HEATER* MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021

## SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh :

**ISKANDAR ZULKARNAIN ROKAN**  
**188130161**

**PROGAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MEDAN AREA**  
**MEDAN**  
**2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 25/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)25/3/24

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengujian efektivitas *heater mesin stirling* mCHPSE-012021

Nama Mahasiswa : Iskandar Zulkarnain Rokan

NIM : 188130161

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh  
Komisi Pembimbing



Jufrizal, ST., MT  
Pembimbing I



Dr. Ang. Supriano, ST., MT.  
Dekan



Dr. Iswandi, SE, MT.  
Ket. Prodi/WD 1

UNIVERSITAS MEDAN AREA  
Tanggal lulus: 19 Desember 2023

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber,
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 25/3/24

Access From (repository.uma.ac.id)25/3/24

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan,

Iskandar Zulkarnain Rokan

188130161

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Iskandar Zulkarnain Rokan

NPM : 188130161

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Pengujian Efektivitas *Heater* Mesin *Stirling* mCHPSE-012021”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis?pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 19 Desember 2023

Yang menyatakan



(Iskandar Zulkarnain Rokan)

Document Accepted 25/3/24

UNIVERSITAS MEDAN AREA

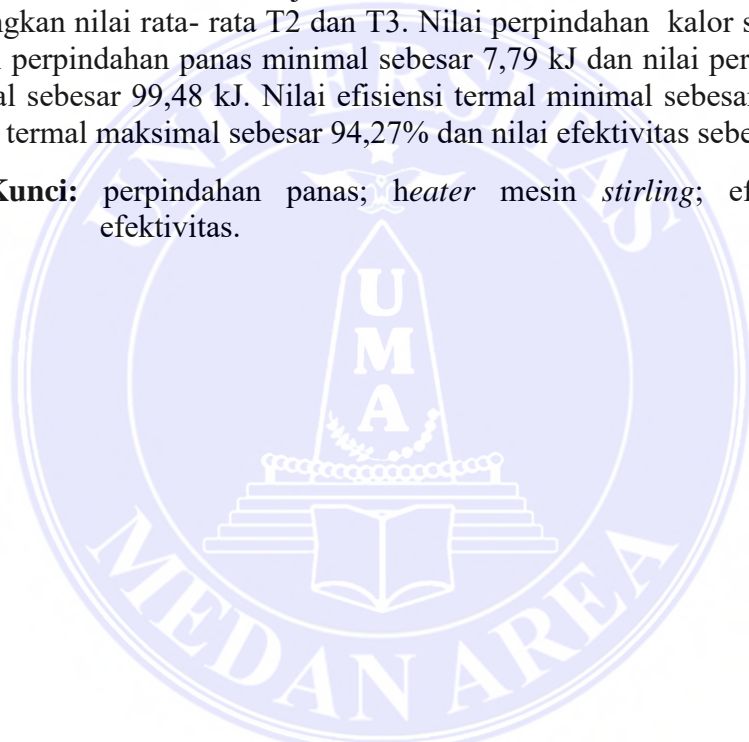
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## ABSTRAK

Tujuan penelitian ini yaitu (1) Analisis dimensi *heater* dan Temperatur, (2) Mengidentifikasi perpindahan panas, (3) mendapatkan efisiensi termal dan efektivitas pada *heater*. Metode yang digunakan ialah metode kualitatif. Bahan yang digunakan tabung gas 3kg, angin kompresor. Alat yang digunakan *heater*, timbangan digital, *flow meter*, regulator, pipa stik, *burner*, *stopwatch*, *thermometer*, *thermowell NPT stainless*, kabel *thermocouple* sensor, dan *thermogun*. Hasil penelitian ini ialah Dimensi *heater* yaitu dengan berbahan *stainless steel 304*, diameter dalam dengan ukuran 51 mm, diameter luar dengan ukuran 75 mm, Tinggi dengan ukuran 70 mm, dan ketebalan dengan ukuran 12 mm. Nilai rata-rata T1 sebesar 552,061 °C, T2 rata-rata sebesar 345,848 °C dan T3 rata-rata sebesar 501,683 °C. Hal ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata T1 lebih besar dibandingkan nilai rata-rata T2 dan T3. Nilai perpindahan kalor sebesar 8005,18 kJ. Nilai perpindahan panas minimal sebesar 7,79 kJ dan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 99,48 kJ. Nilai efisiensi termal minimal sebesar 88,91%. Nilai efisiensi termal maksimal sebesar 94,27% dan nilai efektivitas sebesar 0,0116 %.

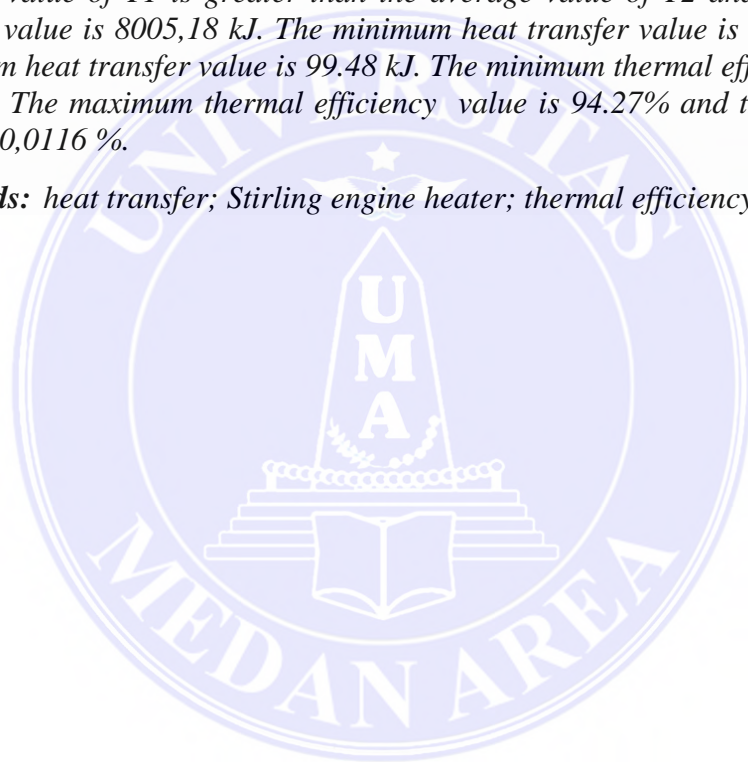
**Kata Kunci:** perpindahan panas; *heater* mesin *stirling*; efisiensi termal; efektivitas.



## ABSTRACT

*The objectives of this study are (1) Analysis of heater dimensions and temperature, (2) Identify heat transfer, (3) obtaining thermal efficiency and effectiveness in the heater. The method used is qualitative method. The material used is 3kg gas cylinder, wind compressor. Tools used heaters, digital scales, flow meters, regulators, stick pipes, burners, stopwatches, thermometers, stainless NPT thermowells, sensor thermocouple cables, and thermoguns. The results of this study are the dimensions of the heater, namely made of stainless steel 304, inner diameter with a size of 51 mm, outer diameter with a size of 75 mm, height with a size of 70 mm, and thickness with a size of 12 mm. The average value of T1 is 552.061 °C, the average T2 is 345.848 °C and the average T3 is 501.683 °C. This shows that the average value of T1 is greater than the average value of T2 and T3. The heat transfer value is 8005,18 kJ. The minimum heat transfer value is 7.79 kJ and the maximum heat transfer value is 99.48 kJ. The minimum thermal efficiency value is 88.91%. The maximum thermal efficiency value is 94.27% and the effectiveness value is 0,0116 %.*

**Keywords:** *heat transfer; Stirling engine heater; thermal efficiency; Effectiveness.*

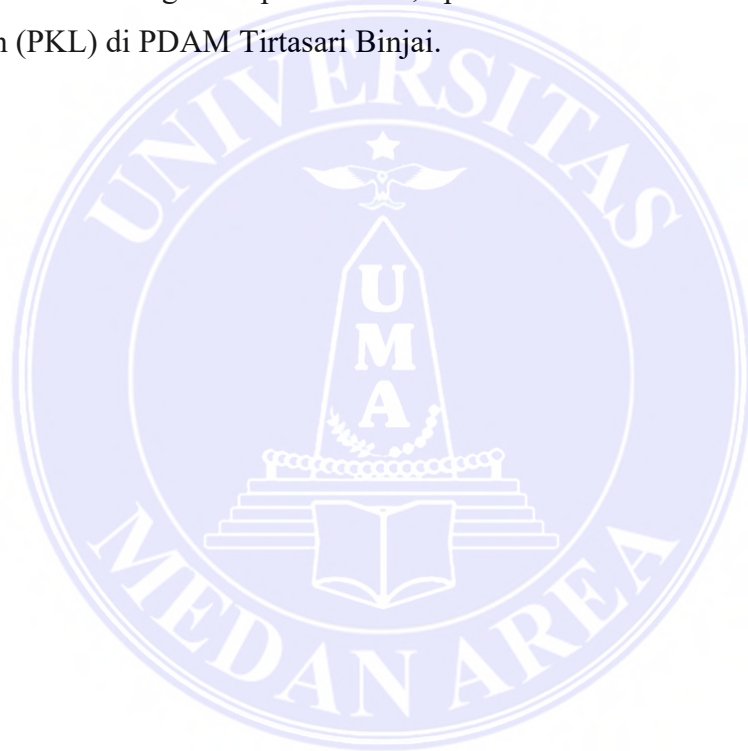


## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pangkalan Berandan Pada tanggal 13 Agustus 2000 dari ayah Muhammad Sofyan Rokan, S.Pd.I dan ibu Sururi Nur Lubis Penulis merupakan Anak Keempat dari 4 bersaudara.

Tahun 2018 Penulis lulus dari SMK Swasta Era Utama, Pancur Batu dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PDAM Tirtasari Binjai.





## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karuniaNya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah Pengujian efektivitas *heater* mesin *stirling* mCHPSE-012021. Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Jufrizal, S.T., M.T selaku pembimbing 1 yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi/tesis ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir/skripsi/tesis ini. Penulis berharap tugas akhir/skripsi/tesis ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

(Iskandar Zulkarnain Rokan)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	iv
ABSTRAK .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Hipotesis Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Mesin <i>Stirling</i> .....	5
2.2 Jenis- Jenis Mesin <i>Stirling</i> .....	5
2.3 Bagian- bagian Mesin <i>Stirling</i> .....	8
2.4 Analisa Termodinamika Mesin <i>Stirling</i> .....	12
2.5 Perhitungan untuk Analisis <i>Heater</i> .....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>18</b>
3.1 Waktu dan Tempat .....	18
3.2 Bahan dan Alat .....	18
3.3 Metode Penelitian.....	26
3.4 Prosedur Kerja .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Hasil.....	31
4.2 Pembahasan .....	39
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>42</b>
5.1. Simpulan.....	42
5.2. Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Konduktifits termal .....	15
Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian .....	18
Tabel 3.2. Variabel Perubahan Yang Diamati Pada Penelitian.....	27
Tabel 4.1. Spesifikasi Heater Mesin Stirling mCHPSE-012021 .....	31
Tabel 4.2. Hasil Uji Temperatur .....	33
Tabel 4.3. Rambatan Termal.....	36
Tabel 4.4. Laju Perpindahan Panas .....	37
Tabel 4.5. Efisiensi Termal .....	38



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin Stirling tipe Alpha .....	6
Gambar 2.2. Mesin Stirling tipe Beta.....	7
Gambar 2.3. Mesin Stirling tipe Gamma .....	8
Gambar 2.4. Heat Exchanger .....	9
Gambar 2.5. Piston.....	10
Gambar 2.6. Displacer.....	10
Gambar 2.7. Flywheel.....	11
Gambar 2.8. Burner.....	12
Gambar 3.1. Tabung Gas LPG 3 kg.....	19
Gambar 3.2. Air Compressor Izumi.....	19
Gambar 3.3. Heater .....	20
Gambar 3.4. Timbangan Digital .....	21
Gambar 3.5. Flow meter.....	21
Gambar 3.6. Regulator dan Selang SNI.....	22
Gambar 3.7. Pipa stik.....	22
Gambar 3.8. Burner.....	23
Gambar 3.9. Stopwatch.....	23
Gambar 3.10. Thermometer controller UT320D .....	24
Gambar 3.11. Thermowell NPT Stainless.....	24
Gambar 3.12. kabel thermocouple sensor .....	25
Gambar 3.13. Thermogun .....	25
Gambar 3.14. Titik-titik pengujian temperatur .....	27
Gambar 3.15. Skema dan Alat uji yang dilakukan .....	28
Gambar 3.16. Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 4.1. (a) Tampak Isometrik, (b) Tampak Atas, (c) Tampak samping.....	32
Gambar 4.2. Grafik Temperatur.....	39
Gambar 4.3. Grafik Temperatur Rata- rata .....	40
Gambar 4.4. Grafik Rambatan Termal.....	41
Gambar 4.5. Grafik Perpindahan Panas .....	41
Gambar 4.6. Grafik Efisiensi Termal.....	42

## DAFTAR NOTASI

$v$	= volume <i>heater</i> ( $m^3$ )
$r$	= jari-jari <i>heater</i> (m)
$t$	= tinggi <i>heater</i> (m)
$m$	= massa udara (kg)
$P$	= massa jenis udara (kPa)
$Q$	= Laju perpindahan kalor (kJ)
$m$	= Massa benda (kg/gr)
LHV	= <i>Low heating Value</i> (kJ/kg)
$R$	= Rambatan termal ( $^{\circ}C/kJ$ )
$\Delta T$	= Perbedaan temperatur ( $^{\circ}C/ K$ )
$q$	= Perpindahan panas (kJ)
$K$	= Konduktivitas termal ( $W/mm^{\circ}C$ )
$A$	= Luas Penampang ( $mm^2$ )
$t$	= Waktu (s)
$L$	= Tebal benda ( $mm^2$ )
FC	= Fuel consumption (kg/h)
$m_1$	= massa bahan bakar sebelum dipakai (kg)
$m_2$	= massa bahan bakar sesudah dipakai (kg)
$t$	= waktu konsumsi (h)
$\eta$	= Efisiensi termal (%)
$T_{min}$	= Temperatur awal ( $^{\circ}C$ )
$T_{max}$	= Temperatur Akhir ( $^{\circ}C$ )
<i>Output</i>	= Energi <i>Output</i> (kJ)
<i>Q<sub>in</sub></i>	= Energi <i>Input</i> (kJ)
$C$	= panas spesifik udara ( $kJ/gr^{\circ}K$ )

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan motor bakar sebagai penggerak, sangat memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Selain mempercepat atau mempermudah aktivitas manusia, di sisi lain penggunaan motor bakar juga menimbulkan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan, terutama gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna (Arfan 2017). Motor bakar adalah mesin kalor atau mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa kerja (Pakpahan et al. 2021). Perkembangan motor bakar pada saat ini menuju ke arah yang ramah lingkungan dan memfokuskan pada pemakaian biaya yang lebih rendah. Hal ini dimungkinkan karena adanya kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM), kelangkaan sumber energi, sampai kepedulian tentang masalah lingkungan seperti pemanasan global.

Mesin *stirling* adalah mesin pembakaran *eksternal* yang menggunakan udara atau gas (helium, hydrogen, nitrogen, methanol dan sebagainya) sebagai fluida kerjanya dengan prinsip regeneratif siklus tertutup (*closed-cycle regenerative*) (ika yuliani 2013). Mesin *stirling* memiliki tiga tipe, antara lain mesin *stirling* tipe *alpha*, mesin *stirling* tipe *beta*, dan mesin *stirling* tipe *gamma* (Rahmalina et al. 2021). Mesin *stirling* ditemukan oleh *Robert Stirling* pada tahun 1816 di Skotlandia, Mesin *stirling* merupakan mesin pembakaran luar yang menggunakan energi termal (panas) yang berasal dari sumber panas kemudian di transfer ke *heater* (Hidayah 2022).

Mesin *stirling gamma* hanyalah sebuah mesin *stirling beta*, dimana piston tenaga sudah terpasang di dalam silinder yang terpisah di samping silinder piston displacer, tapi masih terhubung ke roda gila sama. Gas dalam dua silinder dapat mengalir bebas karel mereka berada dalam satu tubuh. Mekanis ini cukup sederhana dan sering digunakan di dalam mesin *stirling* multi-silinder (Nazila 2016).

Mesin *Stirling* tipe *gamma* Generasi Pertama mCHPSE 012018 diproduksi dan diuji untuk sistem mikro-CHP dengan volume kompresi 106 cc. Mesin diuji dengan udara dan menggunakan bahan bakar LPG sebagai sumber panas. Tekanan udara pada awal proses kompresi dianggap sebagai tekanan gas ideal sebesar 0,987 bar. Karakteristik kerja mesin terbaik diperoleh pada pengujian pertama dengan perbedaan suhu pada sisi panas dan dingin rata-rata sebesar 74,7°C. Output maksimum dan output daya diperoleh pada tekanan pengisian 1,82 bar pada 242,6 rpm dan 12,9 W. Hasil yang ditemukan adalah mendorong untuk memulai prototipe mesin *stirling* tipe *gamma* untuk aplikasi mikro-CHP (Jufrizal et al. 2020).

Mesin *stirling* generasi ke-2 mCHPSE 012019 dengan pendekatan analisis termodinamika siklus ideal. Dengan menggunakan Mesin *stirling* tipe *gamma* dengan fluida kerja udara dan tekanan preload gas kerja adalah tekanan atmosfer. Mesin ini memiliki volume maksimum 0,000201 m<sup>3</sup>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi termal rata-rata adalah 24,6%. Rata-rata putaran mesin dan tenaga yang dihasilkan adalah 415 rpm dan 37,9 W. Rata-rata tekanan maksimum yang dihasilkan selama proses pengujian adalah 2,446 bar (Nurdin Ali et al. 2022).

Mesin *stirling* generasi ke-3 mCHPSE 012020 ini menggunakan *burner* yang dimodifikasi dan dianalisa dengan metode *water boiling test*. Tujuan

penelitian adalah mengetahui efisiensi termal, laju, aliran bahan bakar dan daya *burner* LPG mesin *stirling* dengan variasi konsumsi bahan bakar. Variasi laju aliran bahan bakar LPG dilakukan dengan menggunakan alat pemutar dan pematik kompor gas LPG konvensional yang memiliki pengaturan minimum, menengah, dan maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga variasi laju aliran massa bahan bakarpada kondisi minimum memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar rendah tetapi daya *burner* yang dihasilkan sangat rendah yaitu sebesar 1,714 kW dibandingkan dengan kondisi menengah dan maksimum. Nilai parameter efisiensi termal pada kondisi minimum yaitu sebesar 49,91% dan konsumsi bahan bakar 0,000036 kg/detik atau setara dengan 1296 gram/jam. Daya burner maksimum yang dihasilkan selama pengujian adalah 4,487 kW (Hidayah 2022).

Pada Mesin *stirling*, *heater* merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penukar panas dari sumber panas ke fluida kerja. Kemampuan *heater* pada mesin *stirling* sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas. Merujuk dari beberapa penelitian sebelumnya oleh tim mCHPSE dan tinjauan referensi terkait *heater* yang secara teori merupakan jenis penukar panas maka penulis tertarik untuk menguji *heater* pada mesin *stirling* dengan melakukan variasi temperatur panas.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah sangat luas pencakupannya dan perlu untuk dirumuskan apa saja yang akan dibahas. Berdasarkan uraian dari latar belakang, perumusan masalah dalam penelitian ini ialah:



- a. Polusi udara yang terjadi terhadap lingkungan.
- b. Bahan bakar BBM yang terjangkau.
- c. Material yang lebih bagus.
- d. Besarnya nilai efisiensi termal dan efektivitas yang terjadi.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisis dimensi *heater* dan Temperatur.
- b. Mengidentifikasi perpindahan panas.
- c. Mendapatkan Efisiensi termal dan Efektivitas pada *Heater*.

### 1.4 Hipotesis Penelitian

Heater Pada Mesin *Stirling* sebagai komponen yang diharapkan menghasilkan panas secara efektif. Dengan beberapa bagian yaitu temperatur api dan laju aliran massa terhadap *heater*. Sehingga heater dapat bekerja dengan efektif.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

- a. Menghasilkan *Heater* yang efektif.
- b. Meminimalisir polusi udara yang terjadi.
- c. Mengurangi pemakaian BBM.
- d. Mentransfer kalor dari sumber api *burner*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Mesin *Stirling*

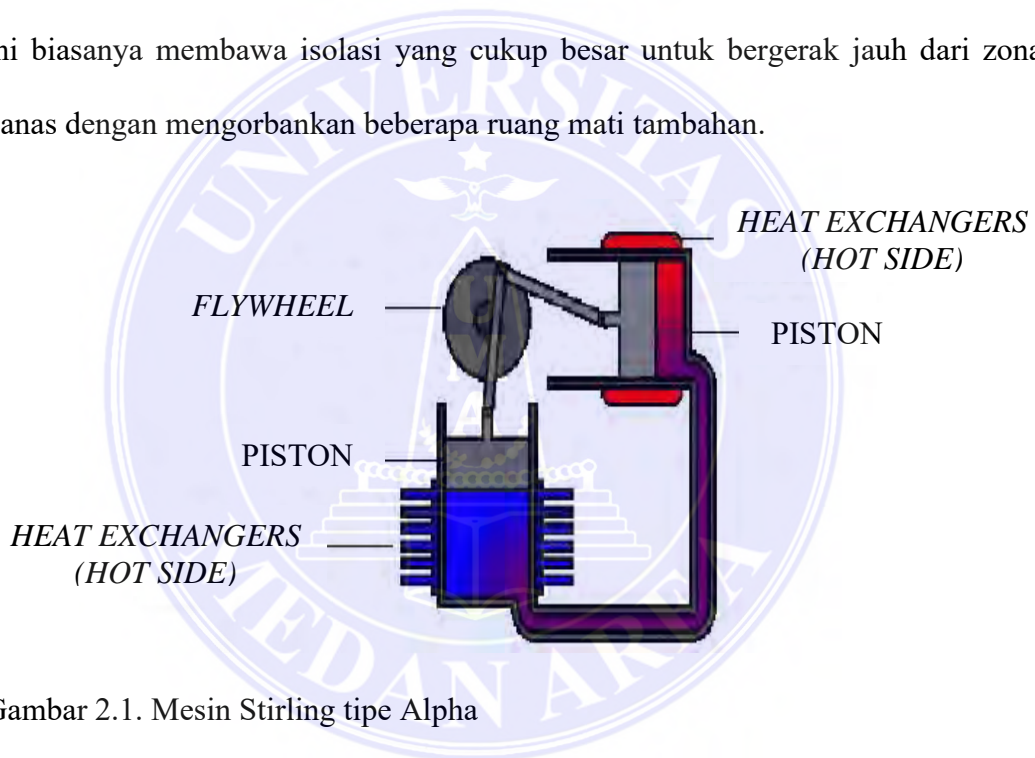
Mesin *stirling* merupakan mesin kalor yang mempunyai cara kerja mengompresi dan mengekspansi fluida pada suhu yang berbeda yang menyebabkan terjadinya perubahan energi panas menjadi energi mekanik. Listrik dapat dihasilkan ketika fluida panas yang masuk ke dalam mesin *stirling* menggerakkan komponen penggerak mesin *stirling* (displacer dan piston) yang tersambung ke sebuah generator (Rahmalina et al. 2021). Mesin *stirling* merupakan mesin pembakaran luar dan menggunakan prinsip regeneratif siklus tertutup (Zufri Hasrudy Siregar, Jufrizal, dan Putra 2022). Mesin *Stirling* dipilih untuk dikembangkan karena dapat dijalankan dengan berbagai sumber panas, termasuk bahan bakar terbarukan, limbah panas, dan energi matahari. Pembakaran yang terkendali, umur panjang, waktu perawatan yang lama, efisiensi tinggi, kebisingan, getaran rendah, dan emisi rendah merupakan keunggulan mesin *Stirling*. Berdasarkan konfigurasinya, mesin *Stirling* dibagi menjadi tiga kategori: alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), dan gamma ( $\gamma$ ). Setiap konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing (Jufrizal et al. 2022).

#### 2.2 Jenis- Jenis Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* memiliki beberapa jenis, adapun jenis-jenis Mesin *stirling* sebagai berikut (M. Nurul Al Binal Insan 2019).

### 2.2.1 Mesin *Stirling* Tipe *Alpha*

Mesin *Stirling Alpha* berisi kekuatan dua piston dalam silinder yang terpisah, satu berada didingin dan satunya berada dipanas. Silinder panas terletak di dalam suhu tinggi penghantar panas (silinder yang dibakar) dan silinder dingin terletak di dalam displacer suhu rendah. Jenis mesin ini memiliki rasio power-bervolume tinggi, namun memiliki masalah teknis karena apabila suhu piston tinggi biasanya panas akan merambat ke pipa pemisah silinder. Dalam prakteknya, piston ini biasanya membawa isolasi yang cukup besar untuk bergerak jauh dari zona panas dengan mengorbankan beberapa ruang mati tambahan.

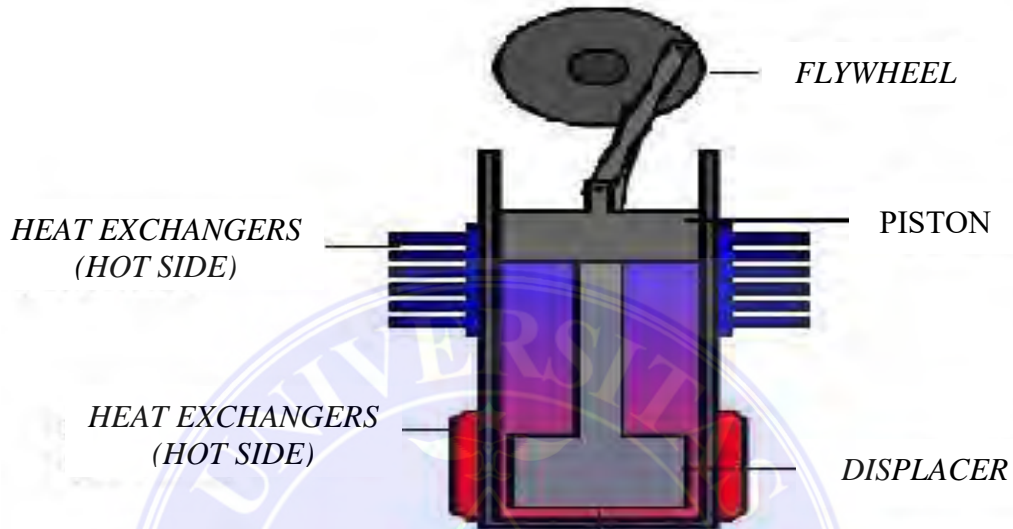


Gambar 2.1. Mesin Stirling tipe Alpha

### 2.2.2 Mesin *Stirling* Tipe *Beta*

Mesin *Stirling beta* memiliki piston daya tunggal yang diatur dalam silinder yang sama pada poros yang sama sebagai displacer piston. Silinder Piston displacer yang cukup longgar hanya berfungsi untuk antar jemput gas panas dari silinder panas ke silinder dingin. Ketika silinder dipanaskan gas mendorong dan memberikan piston kekuatan. Ketika piston terdorong ke dingin (titik bawah)

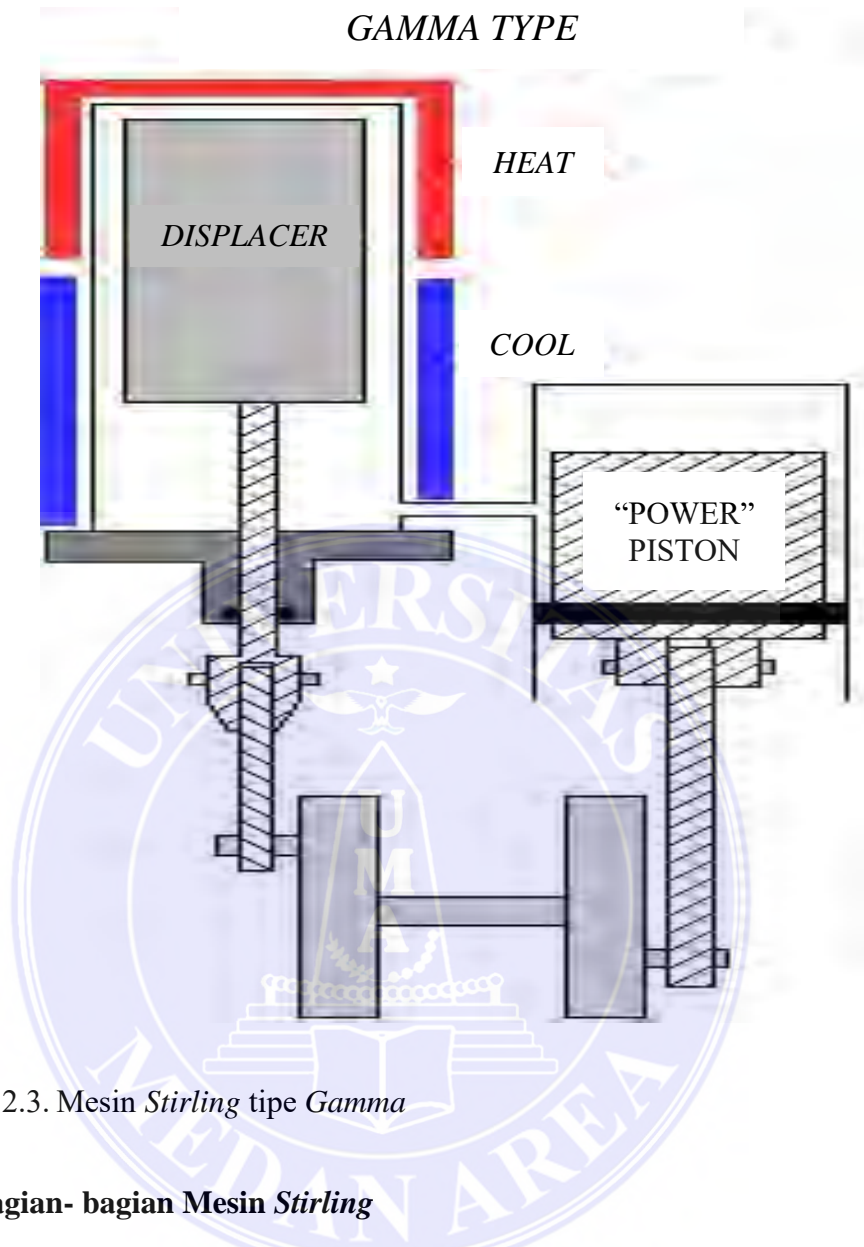
silinder mendapat momentum dari mesin, dan ditingkatkan dengan roda gila. Tidak seperti jenis *Alfa*, jenis *beta* tidak akan menyebabkan isolator (pipa pemisah jika dalam bentuk *Alfa*) menjadi panas.



Gambar 2.2. Mesin *Stirling* tipe *Beta*

### 2.2.3 Mesin *Stirling* Tipe *Gamma*

Mesin *stirling* tipe *gamma* mirip dengan sebuah mesin *stirling beta*, pada mesin *stirling* jenis ini piston tenaga terpasang di dalam silinder yang terpisah di samping silinder piston displacer, tapi masih terhubung ke roda gila yang sama. Gas dalam dua silinder dapat mengalir bebas karena mereka berada dalam satu ruang. Konfigurasi ini menghasilkan rasio kompresi lebih rendah, tetapi secara mekanis lebih sederhana dan sering digunakan di dalam mesin *Stirling* multi-silinder.



Gambar 2.3. Mesin *Stirling* tipe *Gamma*

### 2.3 Bagian- bagian Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* memiliki bagian bagian komponen, adapun bagian-bagian Mesin *stirling* sebagai berikut (Nazila 2016).

#### 2.3.1 *Heat Exchanger*

*Heat exchanger* digunakan untuk membantu dalam pertukaran udara dari satu medium ke medium lainnya. Pada silinder mesin *stirling*, suhu tinggi harus dipertahankan pada ruang panas, sedangkan suhu rendah harus dipertahankan ruang dingin. Panas dari ujung panas sumber ditransfer ke silinder, sementara panas dari

silinder ditransfer ke ujung dingin. Mesin *stirling* yang langsung dipanaskan tidak memiliki pertukaran panas yang signifikan. Mesin berpendingin *stirling* udara biasanya memiliki penukar panas sederhana sementara mesin *stirling* berpendingin air memiliki *heat exchanger* lebih kompleks. Adapun gambar *heat exchanger* dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Heat Exchanger*

### 2.3.2 Piston

Piston adalah bagian penggerak yang merubah tekanan menjadi gerak dari satu ujung ekstrim silinder ke ujung ekstrim yang lain, biasanya disebut sebagai *dead center*. Gerakan piston bervariasi sesuai volume dalam silinder, karena fluida kerja tidak keluar melalui celah antara piston dan dinding silinder. Piston dari mesin *stirling* identik dengan piston dalam mesin mobil. Tekanan gas yang bekerja pada piston diturunkan sebagai output kerja mesin. Adapun piston yang dipakai dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Piston

### 2.3.3 *Displacer*

*Displacer* adalah bagian penggerak yang menyerupai piston, namun celah antara *displacer* dan silinder jauh lebih besar. Hal ini memungkinkan fluida kerja untuk lolos dengan mudah melalui celah piston. *Displacer* berfungsi sebagai pemindah udara. Pergerakan *displacer* tidak menyebabkan gas terkompresi atau terekspansi, maka pergerakan *displacer* tidak menyebabkan volume silinder berubah. Tekanan gas yang bekerja pada *displacer* dapat diabaikan, dibandingkan dengan piston, karena gas lolos melalui celah piston ke daerah tekanan rendah. Adapun gambar *displacer* pada penelitian ini terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Displacer*

### 2.3.4 *Flywheel*

Roda gila (*Flywheel*) merupakan sebuah massa yang berputar, dan dipergunakan sebagai penyimpan tenaga dalam mesin. Energi yang disimpan di dalam roda gila berupa tenaga kinetik. Roda gila (*Flywheel*) adalah perangkat mekanik yang berputar untuk menyimpan energi rotasi. *Flywheel* mempunyai momen inersia yang signifikan, untuk menahan perubahan kecepatan rotasi. Jumlah energi yang tersimpan dalam *Flywheel* sebanding dengan kuadrat kecepatan rotasi. Energi ditransfer ke *Flywheel* dengan menggunakan torsi, sehingga dapat meningkatkan kecepatan rotasi dan karenanya energi dapat tersimpan. Sebaliknya, *Flywheel* melepaskan energi yang tersimpan dengan melakukan torsi ke beban mekanik, sehingga mengurangi kecepatan torsi. Adapun gambar *flywheel* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



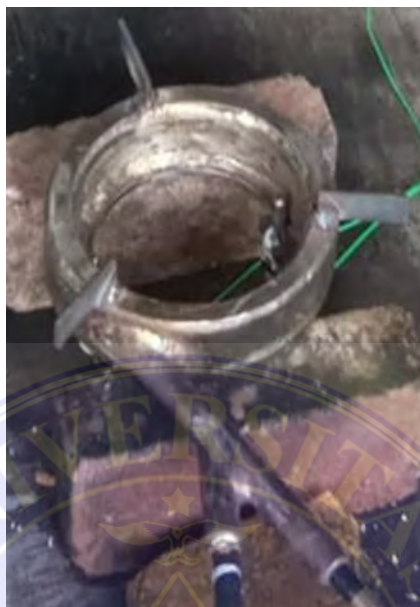
Gambar 2.7. *Flywheel*

### 2.3.5 *Burner*

*Burner* atau alat penghasil panas merupakan mesin kompor api yang menggunakan bahan bakar gas, solar, residu dan *dual fuel*, gas/solar. Fungsi *burner* adalah untuk mengabutkan bahan bakar dan mencampurnya dengan udara



kemudian membakar bahan bakar tersebut (Arifin 2019). Adapun gambar *burner* yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. *Burner*

#### 2.4 Analisa Termodinamika Mesin *Stirling*

Termodinamika dengan hukum-hukumnya dan beberapa konsep yang berkaitan dengannya seperti isothermal, isokhorik, adiabatik ataupun yang lainnya terkadang dianggap sebagai suatu hal yang sulit dimengerti oleh manusia awam. Berkaitan dengan prinsip termodinamika ada sebuah alat yang berhubungan dengan hal itu salah satunya mesin *stirling*. Mesin *stirling* adalah mesin pembakaran *eksternal* yang menggunakan udara atau gas sebagai fluida kerjanya, bekerja berdasarkan prinsip termodinamika. Pada mesin ini dilengkapi dengan regenerator untuk menyimpan energi panas. Akibat panas ini menyebabkan volume gas bertambah dan karena volume gas bertambah maka terjadi pula perubahan tekanan gas yang besar juga yang digunakan untuk menggerakkan piston mesin *stirling*.

2.4.1 *Heater* (Pemanas Udara)

*Heater* merupakan alat penukar panas yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana kedua fluida tersebut mengalir didalam sistem. Fluida yang bertemperatur lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang bertemperatur lebih rendah (Laila dan Alamsyah 2020). Pada mesin *Stirling*, *heater* merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penukar panas dari sumber panas ke fluida kerja. Kemampuan *heater* pada mesin *Stirling* sangat dipengaruhi oleh laju perpindahan panas (Z. H. Siregar, Jufrizal, dan Agusdiandy 2022).

2.5 Perhitungan untuk Analisis *Heater*

Dalam perhitungan Pengujian *Heater* pada dasarnya memerlukan persamaan rumus volume, rumus massa udara, rumus perpindahan kalor, laju perpindahan panas, dan Efisiensi termal.

2.5.1 Volume *heater* dan massa udara

Volume *heater* diperlukan untuk mendapatkan massa udara yang terjadi didalam *heater*, begitu juga sebaliknya dalam mendapatkan massa udaranya. Adapun dalam mencari volume *heater* dapat menggunakan persamaan 2.1.

$$v = \pi \times r^2 \times t \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- v = volume heater (m<sup>3</sup>)
- r = jari-jari *heater* (m)
- t = tinggi *heater* (m)

Adapun dalam mencari massa udara *heater* dapat menggunakan persamaan 2.2.

$$m_u = \frac{PV}{RT} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- $m_u$  = massa udara (kg)
- $P$  = tekanan absolut gas (kPa)
- $V$  = volume gas ( $m^3$ )
- $R$  = konstanta gas ideal (kJ/kg.K)
- $T$  = suhu absolut gas (K)

### 2.5.2 Analisis Perpindahan Panas

Analisis perpindahan panas ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perubahan suhu yang terjadi akibat peristiwa perpindahan panas pada titik – titik tertentu selama proses pemanasan.

#### 1. Perpindahan Kalor

Panas atau kalor adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Satuan SI untuk panas adalah Joule. Panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah. Setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya. Energi dalam ini berbanding lurus terhadap suhu benda. Ketika dua benda dengan suhu berbeda bergandengan, mereka akan bertukar energi *internal* sampai suhu kedua benda tersebut seimbang. Jumlah energi yang disalurkan adalah jumlah energi yang tertukar. Adapun dalam mencari perpindahan kalor dapat menggunakan persamaan 2.3.

$$Q = m \times LHV \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- $Q$  = Laju perpindahan kalor (kJ)
- $m$  = Massa pemakaian bahan bakar (kg)

$$LHV = \text{Low heating Value (kJ/kg)}$$

Untuk mencari rambatan termal dipergunakan persamaan 2.4.

$$R = \frac{\Delta T}{Q} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

R = Rambatan termal (°C/kJ)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

Q = Laju perpindahan kalor (kJ)

2. Laju Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat di definisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah-daerah tersebut dari temperatur fluida yang lebih tinggi ke fluida lain yang memiliki temperatur lebih rendah. (Idawati Supu, Baso Usman, Selviani Basri 2016). Untuk mendapatkan nilai konduktifitas termal dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Konduktifits termal

Metal	Temperatur (°C)	K <sub>w</sub> (W/m°C)
Aluminium	0	202
	100	206
Brass (70 Cu, 30 Zn)	0	97
	100	104
	400	116
Copper	0	338
	100	378
Nickel	0	62
	212	59
Cupro-nickel (10 per cent Ni)	0-100	45
Monel	0-100	30
Stainles steel (18/8)	0-100	16
Steel	0	45
	100	45
	600	36
Titanium	0-100	16

Adapun dalam mencari perpindahan panas dapat menggunakan persamaan 2.5.

$$q = \frac{K.A.t (T_{\max} - T_{\min})}{L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

q = Perpindahan panas (kJ)

K = Konduktivitas termal (W/mm°C)

A = Luas Penampang (mm<sup>2</sup>)

t = Waktu (menit)

ΔT = Perbedaan temperatur (°C)

L = Tebal benda (mm<sup>2</sup>)

2.5.3 Konsumsi bahan bakar

Pengujian konsumsi bahan bakar menentukan seberapa efisiensi. Konsumsi bahan bakar adalah laju penggunaan massa bahan bakar gas LPG yang dipakai oleh burner selama pengujian (Hidayah 2022). Untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar dapat dilihat pada persamaan 2.6.

$$FC = \frac{(m_1 - m_2)}{t} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

FC = Fuel consumption (kg/h)

m<sub>1</sub> = massa bahan bakar sebelum dipakai (kg)

m<sub>2</sub> = massa bahan bakar sesudah dipakai (kg)

t = waktu konsumsi (h)

### 2.5.4 Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah sebuah ukuran kinerja pada mesin-mesin yang menggunakan panas yang berasal dari proses pembakaran (Sugeng Widodo 2014). Meningkatkan efisiensi energi dalam sistem termal sangat penting untuk menghemat energi dan mengurangi masalah lingkungan (Jufrizal et al. 2023). Adapun dalam mencari perpindahan Panas dapat menggunakan persamaan 2.7.

$$\eta = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi termal (%)

$T_{\min}$  = Temperatur awal (°C)

$T_{\max}$  = Temperatur Akhir (°C)

### 2.5.5 Efektivitas

Efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang sebenarnya dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada alat *heat exchanger*. Efektivitas merupakan suatu ukuran yang menyatakan seberapa jauh target (kuantitas, kualitas dan waktu) telah tercapai. Dimana makin besar presentase target yang dicapai, makin tinggi efektivitasnya. Efektivitas adalah pencapaian target *output* yang diukur dengan cara membandingkan *output* anggaran atau seharusnya (OA) dengan *output* realisasi atau sesungguhnya (OS), jika (OA) > (OS) disebut efektif. Efektivitas ialah seberapa besar tingkat kelekatan output yang dicapai dengan output yang diharapkan dari sejumlah *input*. Efektivitas *heat exchanger* biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk *heat exchanger*, arah aliran dan kecepatan

udara yang masuk dalam *heat exchanger*. (Wirawan, Wijaksana, dan Astawa 2016).

Adapun mencari efektivitas dapat menggunakan persamaan 2.8, 2.9, dan 3.0.

$$Output = m_u \times c \times \Delta T \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- Output* = Energi *output* (kJ)
- $m_u$  = massa udara (kg)
- $C$  = panas spesifik udara (kJ/gr°C)
- $\Delta T$  = Perbedaan temperatur (K)

$$Output = m_h \times c \times \Delta T \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- Output* = Energi *output* (kJ)
- $m_h$  = massa *heater* (gr)
- $C$  = panas spesifik udara (J/gr°K)
- $\Delta T$  = Perbedaan temperatur (K)

$$E = \frac{Q_{output}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.0)$$

Keterangan :

- $E$  = Efektivitas (%)
- Q<sub>output</sub>* = Energi *Output* (kJ)
- Q<sub>in</sub>* = Energi *input* (kJ)

- a. Jika *output* aktual berbanding *output* yang ditargetkan lebih besar atau sama dengan 1 (satu), maka akan tercapai efektivitas.

- b. Jika *output* aktual berbanding *output* yang ditargetkan kurang daripada 1 (satu), maka Efektivitas tidak tercapai.





### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### 3.1 Waktu dan Tempat

Waktu Penelitian dilakukan selama 4 bulan dengan jadwal kegiatan penelitian dilihat pada table 3.1, dan kegiatan penelitian dilaksanakan di *Workshop Teknik Mesin Universitas Medan Area* dan *Workshop CV. Ira Publishing*.

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian

No.	Aktifitas	2023															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Pengajuan Judul	■															
2.	Penulisan Proposal		■	■	■												
3.	Seminar Proposal				■												
4.	Proses penelitian					■	■	■	■								
5.	Pengolahan Data Penyelesaian Laporan									■	■	■	■				
6.	Seminar Hasil													■			
7.	Evaluasi dan persiapan Sidang														■	■	
8.	Sidang Sarjana																■

##### 3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan disesuaikan dengan yang diperlukan dalam penelitian ini.

###### 3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Gas LPG 3 Kg

Gas LPG 3 kg berfungsi sebagai bahan bakar pemanas *heat exchanger* pada mesin stirling dalam pengujian ini dengan bobot massa 3 kg dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tabung Gas LPG 3 kg

2. *Air Compressor* Izumi

*Air Compressor* Izumi berfungsi untuk mengalirkan udara meningkatkan tekanan Gas, dengan daya mesin 1 Hp dan tekanan udara 8 Bar, dapat dilihat pada gambar 3.2.



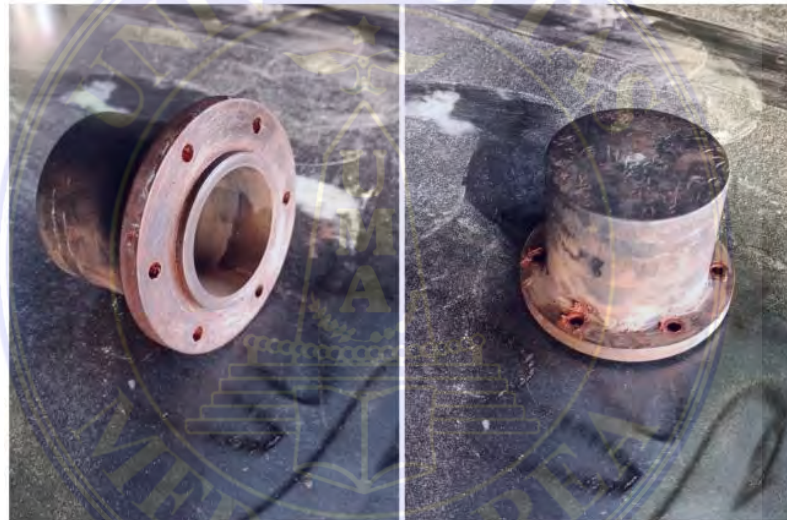
Gambar 3.2. *Air Compressor* Izumi

### 3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

#### 1. *Heater*

*Heater* pada mesin *Stirling* berfungsi untuk memanaskan udara atau fluida kerja di dalam mesin. Fungsi utama *heater* adalah untuk memasok energi panas ke fluida kerja di dalam mesin *Stirling*. Proses ini melibatkan pemanasan fluida kerja dengan memanfaatkan sumber energi *eksternal*, Objek yang dilakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. *Heater*

#### 2. Timbangan Digital

Timbangan Digital berfungsi mengukur konsumsi massa awal dan akhir pada tabung gas 3 kg, dengan daya tampung sebesar 1 kg hingga 5 Kg dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Timbangan Digital

3. *Rotameter Flow meter udara control*

*Flow meter* berfungsi mengukur aliran udara, dengan daya tekanan hingga 20 L/min, dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Flow meter*

4. *Regulator* dan Selang SNI

*Regulator* berfungsi untuk mengetahui laju dan kestabilan tekanan gas, juga Selangnya untuk perantara yang mengalirkan gas dari tabung ke *burner* dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Regulator dan Selang SNI

5. Pipa Stik

Pipa stik berfungsi sebagai perantara untuk mengalirkan gas dari tabung ke burner dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Pipa stik

6. *Burner*

*Burner* berfungsi menyediakan sumber panas untuk memanaskan komponen *heater* menghasilkan panas dan fluida kerja yang diperlukan dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Burner*

7. *Stopwatch*

*Stopwatch* berfungsi untuk mengukur waktu saat pengujian dengan durasi 30 menit dalam waktu pengujian dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. *Stopwatch*

8. *Thermometer controller UT320D*

*Thermometer controller UT320D* adalah suatu alat yang digunakan untuk menunjukkan atau membaca temperatur yang diukur oleh sensor *thermocouple* pada dinding silinder panas dan silinder dingin *Heater*, dengan daya pengukuran suhu - 50°C hingga 1300 °C , dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. *Thermometer controller UT320D*

9. *Thermowell NPT Stainless*

*Thermowell NPT Stainless* berfungsi sebagai sensor suhu temperatur dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Thermowell NPT Stainless*

10. Kabel *thermocouple* sensor

Kabel *thermocouple* sensor berfungsi kabel suhu temperatur penghubung antara *thermowell* ke *thermometer* dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12. Kabel *thermocouple* sensor

11. *Thermogun*

*Thermogun* berfungsi mengetahui temperatur dinding luar *heater* dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. *Thermogun*

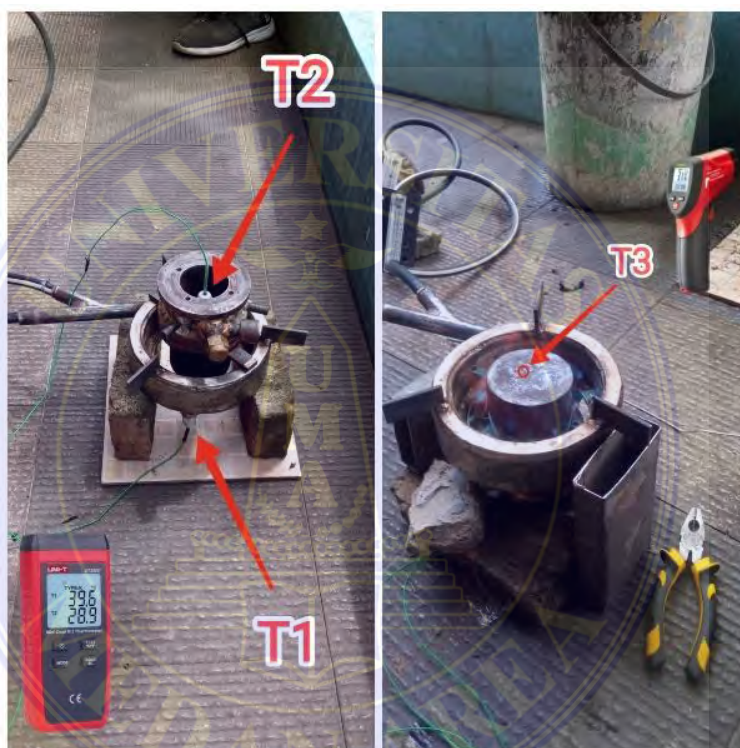


### 3.3 Metode Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di ruangan terbuka, dengan mengamati perubahan temperatur pada sumber api, ruang udara dalam dan dinding luar *heater* yang ditunjukkan oleh *thermocouple* dan *Thermogun*. Mengamati kestabilan suhu temperatur sumber api dan objek yang dipanaskan yaitu *heater*. Serta mengetahui konsumsi spesifik bahan bakar. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut.

1. Memasang semua alat ukur, seperti *thermowell* dan *thermocouple* (T1) diletakkan pada sisi dinding dalam *burner* (Th). *Thermowell* dan *thermocouple* diletakkan pada sisi silinder *heater* (Te) dan temperature dinding luar *heater* di ukur menggunakan *thermogun* (Th).
2. Mempersiapkan gas LPG 3 kg sebagai bahan bakar pemanasan *heater* bersamaan mesin kompresor sebagai penambahan tekanan gas. kemudian *flow meter* diletakkan dibagian masing-masing selang gas dan kompresor. Setelah melewati *flow meter*, angin kompresor dan gas bertemu di stik pipa stik kemudian ke sumber api yaitu *burner*.
3. Hidupkan *burner* menggunakan mancis, setelah hidup api sesuaikan tekanan angin dan tekanan gas menggunakan *flow meter* untuk mencapai api yang stabil pada sumber api *burner*.
4. Pengujian dilakukan 30 menit, dengan rentan waktu 1 menit sekali menggunakan *stopwatch*. Lalu per 5 menit dilakukan pengecekan suhu dinding menggunakan *thermogun*.

5. Pengambilan data pengujian suhu ruang panas ( $T_e$ ), suhu ruang dingin ( $T_c$ ), dan temperatur api ( $T_h$ ), dilakukan secara bersamaan. Pembacaan dilakukan dimulai dari sumber panas dihidupkan.
6. Melakukan pencatatan beberapa parameter, yaitu suhu panas, suhu dingin, temperatur api dan konsumsi bahan bakar. Adapun titik-titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Titik-titik pengujian temperatur

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Variabel Perubahan Yang Diamati Pada Penelitian

Variabel	Indikator	Satuan	Alat
Temperatur	Api, Panas dan dingin	°C	<i>Temperature controller thermometer</i>
Temperatur	Dinding heater	°C	<i>Thermogun</i>
Waktu	Waktu	Menit	<i>Stopwatch</i>

### 3.4 Prosedur Kerja

Untuk gambar Skema dan alat Peneletian ini dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15. Skema dan Alat uji yang dilakukan

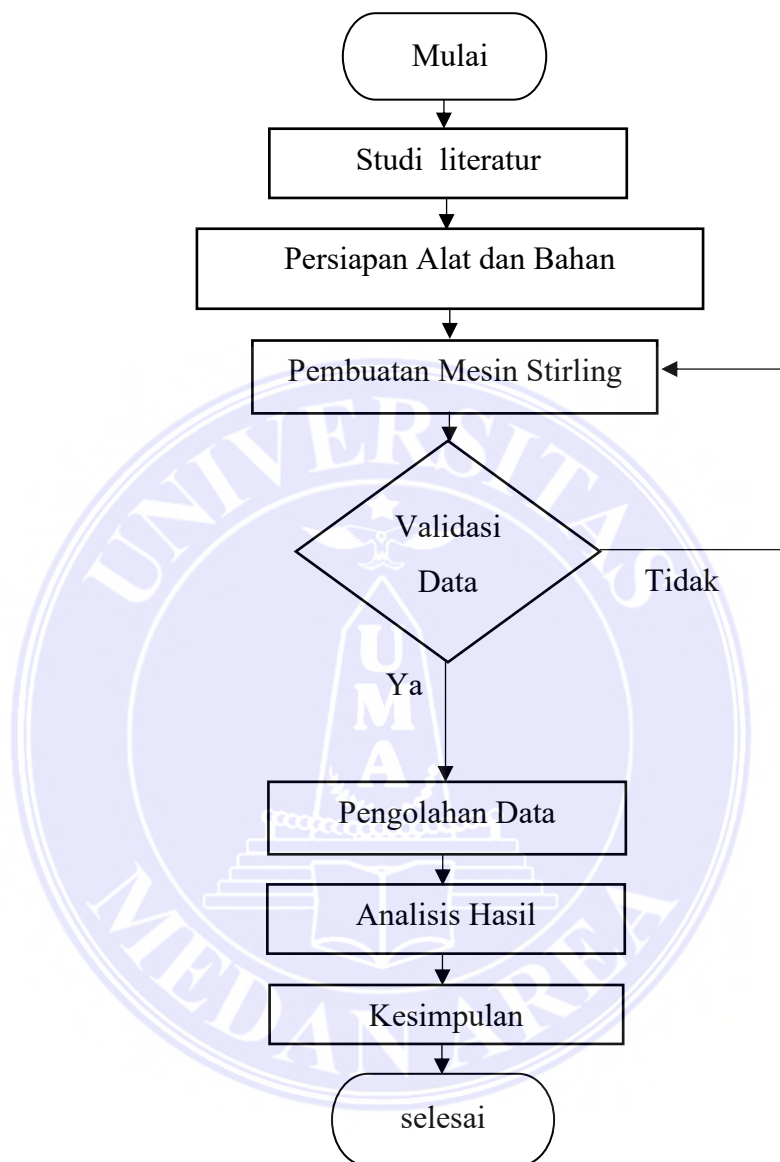
Keterangan :

1. Kompresor
2. *Flow meter*
3. Tabung Gas
4. *Thermometer*
5. *Heater* ( Objek yang di Uji)
6. *Thermogun*
7. *Stopwatch*
8. Laptop



### 3.4.1 Diagram alir penelitian

Untuk gambar diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16. Diagram alir penelitian

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian ini, maka penulis simpulkan sebagai berikut ini.

1. Dimensi *heater* yaitu dengan berbahan *stainless steel* 304, diameter dalam dengan ukuran 51 mm, diameter luar dengan ukuran 75 mm, Tinggi dengan ukuran 70 mm, dan ketebalan dengan ukuran 12 mm.
2. Nilai rata-rata T1 sebesar 552,061 °C, T2 rata-rata sebesar 345,848 °C dan T3 rata-rata sebesar 501,683 °C. Hal ini menunjukkan bahwa nilai rata-rata T1 lebih besar dibandingkan nilai rata-rata T2 dan T3.
3. Nilai perpindahan kalor sebesar 8005,18 kJ
4. Nilai perpindahan panas minimal sebesar 7,79 kJ dan nilai perpindahan panas maksimal sebesar 99,48 kJ.
5. Nilai efisiensi termal minimal sebesar 88,91% dan nilai efisiensi termal maksimal sebesar 94,27%.
6. Nilai efektivitas sebesar 0,0116 % maka efektivitas *heater exchanger* tidak tercapai.

#### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian ini, maka untuk penelitian lebih lanjut penulisan sarankan sebagai berikut ini.

1. Menggunakan bahan atau material yang berbeda.
2. Dimensi ukuran yang berbeda seperti tebal bahan dan luas penampang.
3. Menggunakan desain yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arfan, Khaidir. 2017. “Analisa Performa Motor Bakar Bensin Berbahan Bakar Gas Terhadap Variasi.”
- Arifin, Zaenal. 2019. “Burner.”
- Hidayah, M. 2022. “Uji Kinerja Burner LPG Mesin Stirling dengan Variasi Kosumsi Bahan Bakar LPG *Burner Performance Test Stirling Engine with Variations in Fuel Consumption.*” *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1(1): 35–40.
- Idawati Supu, Baso Usman, Selviani Basri, Sunarmi. 2016. “Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda.” *Ucv* I(02): 390–92.
- Ika yuliani, mochamad irwan. 2013. “Pembuatan Dan Pengujian Prototipe Tipe Gamma.” *Industrial Research Workshop and National Seminar*: 215–19.
- Jufrizal et al. 2022. “*Ideal Cycle Thermodynamic Analysis For Gamma-Type Stirling Engine.*” *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)* 14(2): 1–15.
- Jufrizal et al. 2023. “*Integration of a Gamma-Type Stirling Engine with LPG Cooking Stove for Micro-Scale Combined Heat and Power Generation.*” *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 108(2): 1–16.
- Jufrizal, Farel H. Napitupulu, Ilmi, dan Himsar Ambarita. 2020. “Manufacturing and testing prototype of a gamma type Stirling engine for micro-CHP application.” In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing.
- Laila, Lia, dan Saddam Alamsyah. 2020. “Kajian Pengaruh Tekanan Kerja Steam pada Mesin Steam Heater terhadap Kadar Air Kernel di Pabrik Kelapa Sawit Pendahuluan Tinjauan Pustaka.” 2(2): 1–8.
- M. Nurul Al Binal Insan. 2019. “Perancangan Prototipe Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Berbahan Bakar Gas Alam Skripsi Oleh : M. Nurul Al Binal Insan.”
- Nazila, Intan Putri. 2016. “Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma Dan Sistem Aliran Air Pada Reservoir Rendah Skripsi Oleh : Intan Putri Nazila.”
- Nurdin Ali, Jufrizal et al. 2022. “*Thermodynamic Analysis of a Gamma - Type Stirling Engine for mCHP Application.*” In , 225–29.
- Pakpahan, B. et al. 2021. “Analisis Performansi Motor Bakar Pada *Generator-Set* Dengan Kapasitas Daya 440 Kw.” Sinergi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 2(2): 18–27.
- Rahmalina, Dwi, I Gede Eka Lesmana, Agri Suwandi, dan Reza A Rahman. 2021. “Pengembangan Stirling Engine Tipe Piston Bebas Untuk Aplikasi *Concentrated Solar Power ( Csp )*.” *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta* 13(1): 101–8.
- Siregar, Z. H., Jufrizal, dan M. D. Agusdiandy. 2022. “Pengaruh Variasi Temperatur Sumber Panas Terhadap Temperatur Udara Dalam Heater Mesin Stirling.” *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1: 11–16.
- Siregar, Zufri Hasrudy, Jufrizal Jufrizal, dan Bintang Kelana Putra. 2022. “Pengaruh Penambahan Regenerator Terhadap Performansi Mesin Stirling

- Tipe Gamma.” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi* 8(2): 194.
- Sugeng Widodo, Agung. 2014. “Selubung Radiasi Untuk Efisiensi Penggunaan Energi Pada Kompor Gas.” *Jurnal Rekayasa Mesin* 5(3): 291–95.
- Wirawan, I M A, H Wijaksana, dan K Astawa. 2016. “Analisa Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Memanfaatkan Energi Panas LPG.” *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA* 10(10): 1–5.



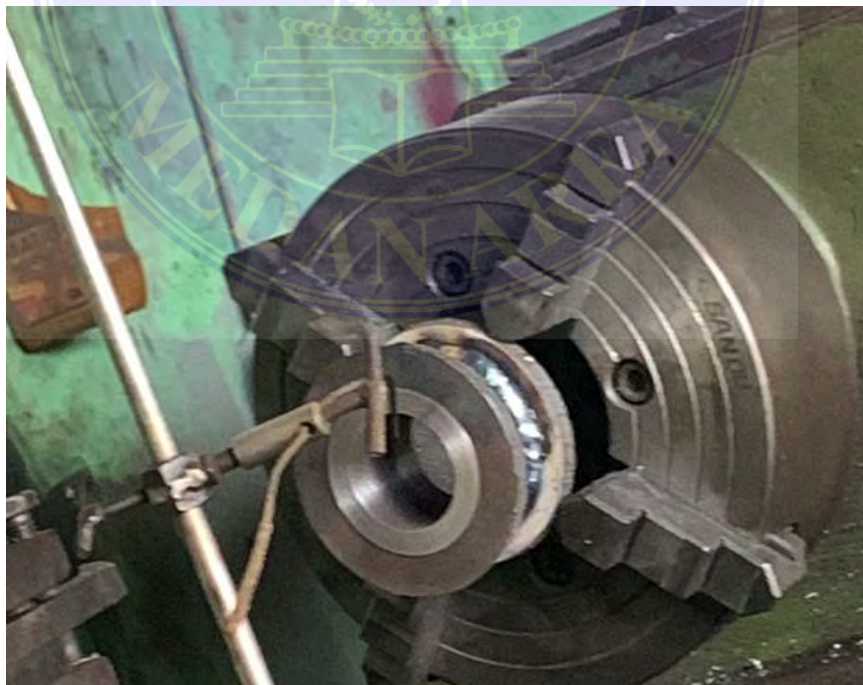


## LAMPIRAN

### PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN HEATER



Hasil Pengelasan Heater



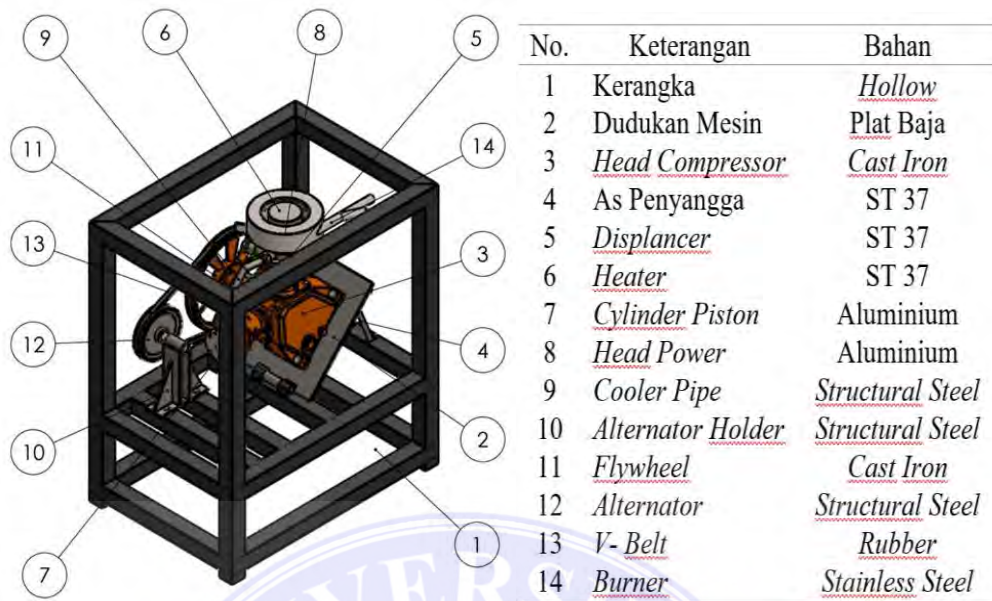
Proses Pembubutan Heater



Hasil Pembuatan Heater



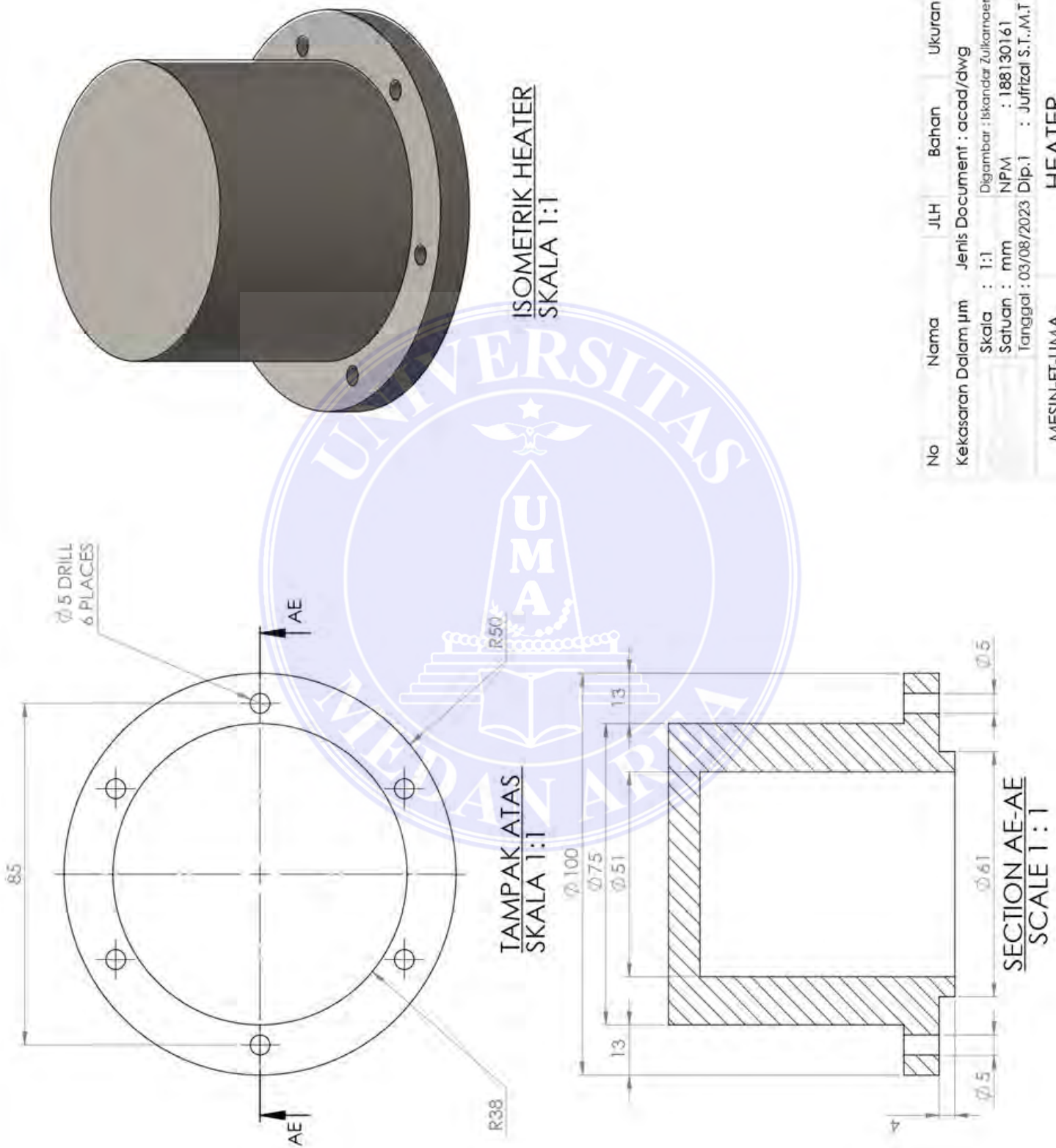
Mesin Stirling mCHPSE-012021



Desain Mesin Stirling mCHPSE-012021



Pengujian Heater



No	Nama	JUH	Bahan	Ukuran	Keterangan
	Kekasaran Dalam $\mu\text{m}$		Jenis Document : acad/dwg		Peringatan :
	Skala : 1:1		Digambar : Iskandar Zulkarnain R.		
	Satuan : mm		NPM : 188130161		
	Tanggal : 03/08/2023		Dip.1 : Jufriзал S.T.,M.T		
	MESIN-FT-UJMA		HEATER	TA-FT	A3