

**MANUFAKTUR *HEATER* MENGGUNAKAN BAHAN PIPA
STEAM UNTUK MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021**

SKRIPSI

OLEH:

EPRIAN KURNIAWAN

188130015



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 18/3/25

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

Access From (repository.uma.ac.id)18/3/25

HALAMAN JUDUL

MANUFAKTUR *HEATER* MENGGUNAKAN BAHAN PIPA *STEAM* UNTUK MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021

SKRIPSI

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

Oleh

EPRIAN KURNIAWAN

188130015

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 18/3/25

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

Access From (repository.uma.ac.id)18/3/25

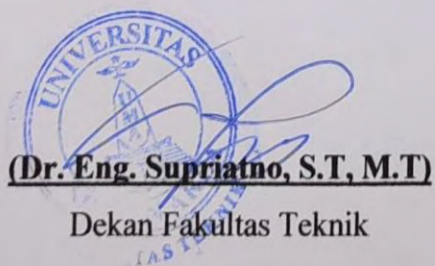
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : MANUFAKTUR *HEATER* MENGGUNAKAN
BAHAN PIPA *STEAM* UNTUK MESIN *STIRLING*
mCHPSE-012021

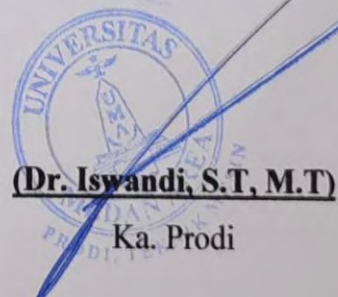
Nama Mahasiswa : EPRIAN KURNIAWAN

NIM : 188130015

Fakultas : TEKNIK MESIN



(Dr. Eng. Supriatno, S.T, M.T)
Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Iswandi, S.T, M.T)
Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 16 Januari 2025

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 sangsi-sangsi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 17 Februari 2025



Eprian Kurniawan

NIM : 188130015

HALAMAN PERNATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Eprian Kurniawan

NIM : 188130015

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 :

“Manufaktur *Heater* Menggunakan Bahan Pipa *Steam* Untuk Mesin *Stirling* mCHPSE-012021”

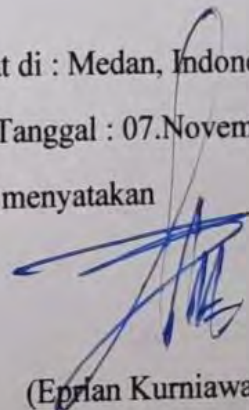
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti *Noneksklusif* ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama teteap mencantumkan nama saya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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan, Indonesia

Pada Tanggal : 07.November 2024

Yang menyatakan



(Eprian Kurniawan)

NIM :188130015

ABSTRAK

Desain dan dimensi *heater* untuk mesin *Stirling* perlu mempertimbangkan beberapa faktor agar efisiensi dan performa mesin optimal. Aplikasi autoCAD digunakan untuk mendesain *heater* mesin *stirling* mCHPSE-012021. *Heater* merupakan salah satu komponen pada mesin *stirling* mCHPSE-012021 dan letak *heater* ditunjukkan pada depan mesin. Berdasarkan hasil penelitian dan proses manufaktur yang telah dilakukan, *Heater* yang telah diproduksi menggunakan bahan baja karbon mampu mencapai suhu rata-rata sebesar 484,50 °C. suhu rata-rata ini mencerminkan kemampuan *heater* dalam mempertahankan suhu yang stabil selama pengujian, yang merupakan indikator penting dalam menentukan efisiensi dan reliabilitas *heater*. Stabilitas suhu pada 484,50 °C juga menunjukkan bahwa *heater* memiliki distribusi panas yang merata, yang sangat penting untuk menghindari hotspot atau area yang kurang panas.

Kata Kunci: Manufaktur *Heater*, Mesin *Stirling*, Pipa *Steam*.

ABSTRACT

The design and dimensions of the heater for the Stirling engine need to consider several factors to ensure optimal efficiency and performance of the engine. AutoCAD software is used to design the heater for the Stirling engine model mCHPSE-012021. The heater is one of the components of the Stirling engine mCHPSE-012021, and its location is shown at the front of the machine. Based on the research results and the manufacturing process that has been carried out, the heater produced using carbon steel is capable of reaching an average temperature of 484.50 °C. This average temperature reflects the heater's ability to maintain a stable temperature during testing, which is an important indicator in determining the heater's efficiency and reliability. The temperature stability at 484.50 °C also indicates that the heater has uniform heat distribution, which is crucial to avoid hotspots or areas with insufficient heating.

Keywords: Heater Manufacturing, Stirling Engine, Steam Pipe.

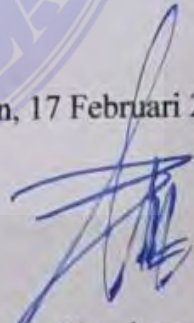
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sidomulyo, pada tanggal 21 Oktober 1998, putra dari pasangan Bapak Suprpto S dan ibu Sitizaenab. Penulis merupakan anak keenam dari tujuh bersaudara.

Penulis memulai pendidikan di SD Negeri 117508 Karang anyar Kec. Aek Kuo Kab. Labuhanbatu Utara. Pada tahun 2005 dan tamat tahun 2011, pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Aek Kuo Kab. Labuhanbatu Utara dan tamat pada tahun 2014, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Aek Kuo Kab. Labuhanbatu Utara dan selesai pada tahun 2017. Ditahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa di Universitas Medan Area Fakultas Teknik Mesin.

Sampai dengan skripsi ini penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa prodi teknik mesin fakultas teknik di Universitas Medan Area.

Medan, 17 Februari 2025



Eprian Kurniawan

NIM : 188130015

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT Yang Maha Kuasa, karena hanya atas berkat dan Rahmat-Nya, maka Skripsi Penelitian yang berjudul “**MANUFAKTUR HEATER MENGGUNAKAN BAHAN PIPA STEAM UNTUK MESIN STIRLING mCHPSE-012021**”, dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Adapun Tujuan Skripsi penelitian ini adalah salah satu syarat untuk mahasiswa dalam menyelesaikan studinya di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area. Penulis memahami bahwa tanpa dorongan, doa dan bimbingan dari semua pihak, akan sangat sulit untuk menyelesaikan proposal penelitian ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dorongan dan kontribusinya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc. Selaku Rektor Universitas Medan Area
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom, M.Kom. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
3. Bapak Dr. Iswandi ST,MT Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Dr. Jufrizal, ST.MT Selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
5. Kedua orangtua penulis atas semua nasehat dan pengorbanan moral dan materi serta doanya terhadap penulis.
6. Kepada abang dan kakak saya selaku membimbing dan support saya
7. Kepada Teman – Teman Seperjuangan Teknik Mesin 2018.

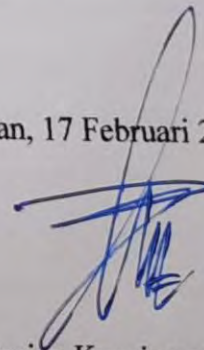
8. Terimakasih kepada CV. IRA PUBLISHING yang telah membantu penelitian pengambilan data laporan.
9. Terimakasih juga kepada kekasih saya Desy Rahmadani yang sudah membantu dan mensupport saya dalam mengerjakan laporan skripsi saya.
10. Semua pihak yang belum tertulis diatas, yang telah banyak membantu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan dari laporan Proposal ini. Saya berharap, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa/mahasiswi dan pembaca sekaligus demi menambah pengetahuan.

Atas segala kekurangan dan tidak sempurna laporan ini, penulis sangat mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Cukup banyak kesulitan yang penulis temui dalam penulisan laporan ini, tetapi dapat penulis atasi dan selesaikan dengan baik.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah Yang Maha Esa.

Medan, 17 Februari 2025



Eprian Kurniawan

NIM:188130015

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERNATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Hipotesis Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Mesin <i>stirling</i>	5
2.1.1. Sejarah Awal Mesin <i>Stirling</i>	6
2.1.2. Siklus <i>Stirling</i>	6
2.2. Jenis-jenis Mesin <i>Stirling</i>	7
2.2.1. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Alpha.....	7
2.2.2. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Beta	8
2.2.3. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Gama.....	9
2.3. Komponen Komponen Mesin <i>Stirling</i>	9
2.3.1. <i>Heat Exchanger</i>	9
2.3.2. Piston.....	10
2.3.3. <i>Displacer</i>	11
2.3.4. <i>Flywheel</i>	11
2.3.5. <i>Burner</i>	12

2.4.	Pemanas Pada Mesin <i>Stirling</i>	13
2.4.1.	Sumber Panas Pada Mesin <i>Stirling</i>	13
2.4.2.	Jenis Bahan Yang Digunakan Pada Sumber Panas (<i>Heater</i>).....	14
2.5.	<i>Software</i> CAD Untuk Industri Manufaktur	14
2.5.1.	CAD (<i>Computer Aided Design</i>).....	15
2.5.2.	<i>AutoCAD</i>	15
2.5.3.	<i>Solidworks</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN.....		18
3.1.	Tempat dan Waktu	18
3.1.1.	Tempat	18
3.1.2.	Waktu	18
3.2.	Alat dan Bahan	19
3.2.1.	Alat.....	19
3.2.2.	Bahan	22
3.3.	Metode Penelitian.....	25
3.4.	Diagram Alir Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1.	Desain <i>Heater</i>	27
4.2.	Pengadaan Bahan.....	28
4.3.	Pembuatan (<i>Manufacturing</i>).....	29
4.4.	Pembahasan	34
4.4.1.	Hasil Pengujian Suhu <i>Heater</i>	34
4.4.2.	Analisis Kinerja <i>Heater</i>	34
4.4.3.	Perbaikan dan penyesuaian	35
4.4.4.	Perbandingan dengan Spesifikasi Desain.....	35
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		38
5.1.	Simpulan.....	39
5.2.	Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN A PROSES MANUFAKTUR HEATER		42
LAMPIRAN B PUBLIKASI ILMIAH.....		46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Pipa <i>Steam</i> atau Pipa <i>Boiler</i>	14
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	18
Tabel 3.2. Spesifikasi Mesin Bubut	20
Tabel 4.1. Jenis Pipa <i>Steam</i>	29
Tabel 4.3. Hasil Pengujian <i>Heater</i>	33
Tabel 4.4. Spesifikasi <i>Heater</i> Mesin <i>Stirling</i> Sebelumnya	37
Tabel 4.5. Spesifikasi <i>Heater</i> Mesin <i>Stirling</i> Yang Digunakan.....	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin <i>Stirling</i>	6
Gambar 2.2. Diagram T-S Siklus <i>Stirling</i>	7
Gambar 2.3. Diagram P-V Siklus <i>Stirling</i>	7
Gambar 2.4. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Alpha.....	8
Gambar 2.5. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Beta.....	9
Gambar 2.6. Mesin <i>Stirling</i> Tipe Gama.....	9
Gambar 2.7. <i>Heat Exchanger</i>	10
Gambar 2.8. Piston.....	11
Gambar 2.9. <i>Displacer</i>	11
Gambar 2.10. <i>Flywheel</i>	12
Gambar 2.11. <i>Burner</i>	13
Gambar 2.12. <i>AutoCAD</i>	16
Gambar 2.13. <i>SolidWorks</i>	17
Gambar 3.1. Jangka Sorong.....	19
Gambar 3.2. <i>AutoCAD</i>	20
Gambar 3.3. Mesin Bubut CW62328.....	21
Gambar 3.4. Gerinda.....	21
Gambar 3.5. Mesin Las Listrik.....	22
Gambar 3.6. Pipa <i>Steam</i>	23
Gambar 3.7. Plat Baja.....	24
Gambar 3.8. <i>Elektroda</i>	24
Gambar 3.9. Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 4.1. Desain <i>Heater</i>	27
Gambar 4.2. Bahan Pipa <i>Steam</i>	28
Gambar 4.3. Bahan Plat Baja.....	28
Gambar 4.4. Ukuran Sebelum Pembubutan.....	30
Gambar 4.5. Ukuran Setelah Pembubutan.....	30
Gambar 4.6. Pemotongan Pipa <i>Steam</i> dan Besi Plat Tebal.....	31
Gambar 4.7. Pembubutan.....	32
Gambar 4.8. Pengelasan <i>Heater</i>	32
Gambar 4.9. <i>Heater</i>	33

Gambar 4.10. Diagram Nyala Api	34
Gambar 4.11. <i>Heater</i> Yang Dibuat	36
Gambar 4.12. <i>Heater</i> Sebelumnya	37



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia terus mengalami peningkatan, membawa bermacam-macam dampak terhadap berbagai aspek kehidupan manusia yang salah satu aspek paling terpengaruh dengan adanya penambahan jumlah penduduk. Pengguna energi untuk menunjang kebutuhan hidup yang meliputi sektor industri, dan lain sebagainya.

Seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi dan kebutuhan mesin penggerak utama atau prime mover juga semakin meningkat menghasilkan suatu energi mekanis sebagai input yang kemudian di konversikan menjadi bentuk energi. Mesin penggerak tersebut dapat di manfaatkan dalam banyak hal, misalnya sebagai alat penggerak mesin industri, alat penggerak pompa, dan lain sebagainya.

Mesin *stirling* memiliki potensi utama mencaapai efisiensi tertinggi dari semua mesin kalor secara teori sampai efisiensi, mesin *stirling* adalah salah satu mesin kalor yang memanfaatkan perbedaan temperatur perubahan tekanan, akibatnya fluida kerja tersebut mengalami proses ekspansi dan kompresi pada satu kali siklus yang dapat menggerakkan piston bolak-balik.

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 $74,7^{\circ}\text{C}$. 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, Napitulu, Ilmi, & Ambarita, 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 $0,000201\text{ m}^3$. 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 (Jufrizal, Napitulu, Ilmi, Ambarita, & Meliala, 2022a).

Mesin *Stirling* generasi ke-3 mCHPSE 012020 ini menggunakan burner yang dimodifikasi dan dianalisa dengan metode water boiling test. Tujuan penelitian adalah mengetahui efisiensitermal, 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 bakar pada 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 (Mawardi, 2022).

Pada Mesin *Stirling, heater* merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai penukar panas dari sumber panas ke fluida kerja. 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 sumber panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju & pengaruh variasi temperatur sumber panas terhadap temperatur udara di dalam *heater* mesin *Stirling* mCHPSE-012021.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun uraian di atas dapat diketahui permasalahan yang perlu di pelajari lebih banyak lagi dalam mesin *stirling*,

1. Bagaimana desain dan perancangan *heater* pada *stirling engine*?
2. Bagaimana pemilihan material pada *heater*?
3. Bagaimana pengerjaan material menjadi *heater*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini ialah sebagai berikut:

1. Membuat Desain *Heater* untuk mesin *stirling*.
2. Untuk mengetahui proses manufaktur *heater* pada mesin *stirling*.

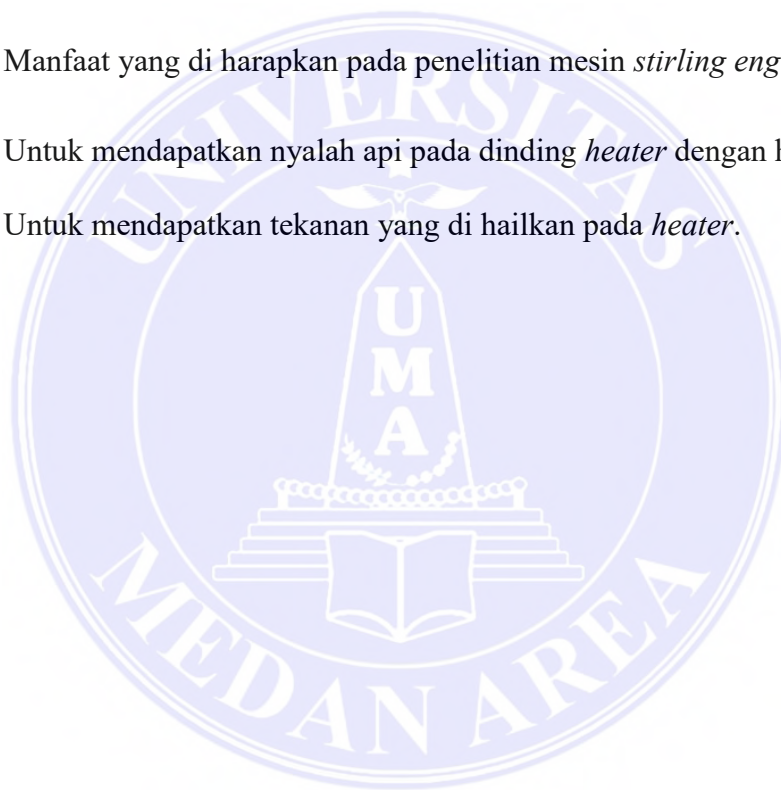
1.4. Hipotesis Penelitian

1. *Heater* pada mesin *stirling* sebagai komponen yang di harapkan sebagai menghasilkan panas secara efektif dengan beberapa bagian yaitu. Menghasilkan panas dan laju aliran massa terhadap *heater*. Sehingga *heater* dapat bekerja dengan efektif.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang di harapkan pada penelitian mesin *stirling engine* adalah:

1. Untuk mendapatkan nyalah api pada dinding *heater* dengan hasil efektif.
2. Untuk mendapatkan tekanan yang di hailkan pada *heater*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin *stirling*

Mesin *stirling* ditemukan tahun 1816 oleh Robet *stirling* pada tahun (1790-1978). Mesin *stirling* merupakan mesin dengan jenis pembakaran luar dengan siklus tertutup yang mengubah energi panas menjadi energi gerak dengan menggunakan udarah atau gas sebagai fluida kerjanya (Ridho, 2024). Mesin *stirling* dapat membakar setiap bahan bakar padat ataupun cairan sebagai sumber pemanas nya. Hal ini sangat menyebabkan mesin *stirling* sangat menarik, khususnya pada situasi di mana bahan bakar konvensional sangat mahal dan sulit untuk memperolehnya (Indrawanto, 2023). Pada dasarnya system pembangkit listrik dengan generator *stirling* mempunyai komponen untuk membangkitkan sebuah beban yang akan menghasilkan tegangan, arus, dan daya (Narayan & Gupta, 2015).

Mesin *stirling* memiliki potensi untuk mencapai efisiensi tertinggi dari semua mesin kalor secara teori sampai efisiensi maksimal, meskipun dalam praktek nya usaha ini tersebut di batasin oleh berbagai sifat-sifat *non-ideal* dari baik itu fluida kerjanya maupun dari bahan mesin itu sendiri, mesin ini dapat di oprasikan berbagai sumber panas yang dapat mencakupi seperti tenaga matahari, pembakaran pada gas LPG, dan lain-lain (Rokan, 2023). Dapat di lihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Mesin *Stirling*

2.1.1. Sejarah Awal Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* memiliki sejarah cukup Panjang, telah di telitih dengan sangat baik oleh Finkelstein (1959), Zarinchang (1972) Dan Ross (1977). Robert *Stirling* sebagai penemu awal mesin panas *regenerator*, menemukan mesin *regenerator* siklus tertutup pada tahun 1816 dan mengembangkannya bertahun-tahun kepada saudara sekandung nya.

Perkembangan Mesin *Stirling* masih berlanjut sampai tahun 1980. Mesin pertama yang di temukan adalah mesin Ringbom, Di mana mesin tersebut tidak memiliki hubungan langsung antara roda gila dan dispelaser (Smirnov & Golkar, 2015).

2.1.2. Siklus *Stirling*

Hukum termodinamika I dan II digunakan serta berlaku di gunakan untuk mesin panas, Pemahaman dan meyakini hukum thermodinamika diperlukan untuk dapat di pahami secara mendalam mengenai proses pada mesin panas sederhana, bagaimana sebaliknya di buat model teoritis yang diasumsikan didalamnya

mengandung keadaan yang diidealisasikan yang di perlukan membuat analisis dari pengoperasiannya. (Siregar, Hasrudy, Jufriзал, & Putra, 2022).

Sebuah siklus dapat dipersentasikan dalam gambar dengan dua bentuk persentasi yang sangat membantu dalam analisis oprasi mesin panas yaitu gambar tekanan volum (P-V) dan gambar temperature entropi (T-S) (Hidayat, 2024). Mesin *stirling engine* adalah mesin termal dengan dua piston yang di dalam nya terdapat gas kerja dengn massa konstan (seperti gas, udara, helium atau hydrogen) (Hidayat et al., 2023). Yang membedakan adanya dua siklus dengan siklus lain yaitu adanya dua regenerasi volme konstan, regenerasi adalah proses dimana padas di transferkan ke alat penyimpan energi panas (biasa disebut *regenerator*) saat salah satu bagian proses dari siklus dan di transferkan ke fluidah kerja pada salah satu bagian dari proses siklus lainnya (Faculty, 2000).

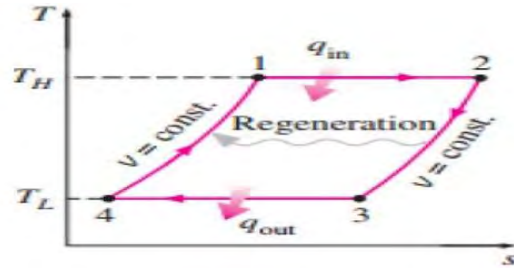
Ada empat proses yang bener-bener *reversibel* berlangsung dalam siklus *stirling* yaitu.

1 – 2 T = ekspansi konstan (Penambahan panas dari sisi luar).

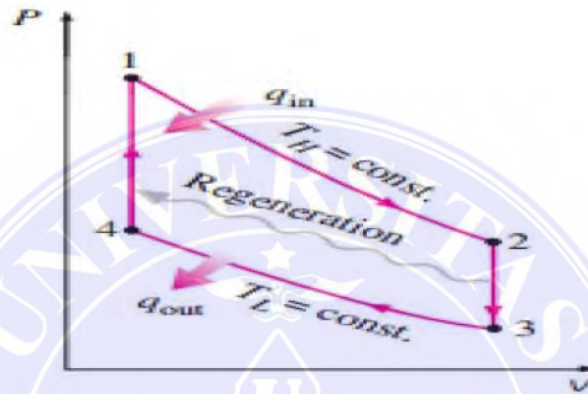
2 – 3 v = regenerasi konstan (Panas internal ditransferkan dari fluida kerja ke *regenerator*).

3 – 4 T = Kompresi konstan (Panas dibuang ke pembuang luar).

4 – 1 v = regenerasi konstan (panas internal ditransferkan kembali dari *regenerator* ke fluida kerja).



Gambar 2.2. Diagram T-S Siklus *Stirling*



Gambar 2.3. Diagram P-V Siklus *Stirling*

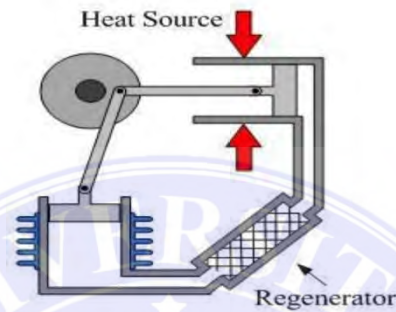
2.2. Jenis-jenis Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* memiliki beberapa jenis, ada pun jenis mesin *stirling* yaitu. Mesin *stirling* tipe alpha, mesin *stirling* tipe beta, mesin *stirling* tipe gama. (Lhokseumawe , 2020).

2.2.1. Mesin *Stirling* Tipe Alpha

Ada dua silinder yang tertutup dengan jumlah udarah dan cairan lain yang tetap, yang satu panas dan ya ng lainnya dingin (Lubis et al., 2024). Hal ini bergerak maju dan mundur antara ke dua silinder dilakukan saat udarah panas mengembang yang ada di silinder panas dan berkontraksi ketika berinteraksi dengan udarah dingin yang ada di silinder dingin. Ini adalah sumber energi yang

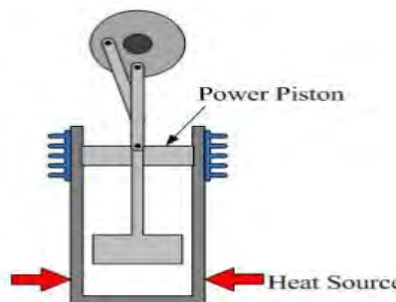
di gunakan untuk melakukan proses kerja mekanis. Namun memiliki masalah teknis apa bila suhu piston tinggi biasanya panas akan merambat ke pipa pemisah silinder. Dapat di lihat mesin *stirling engine* jenis tipe alpha. Dapat di lihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Mesin *Stirling* Tipe Alpha

2.2.2. Mesin *Stirling* Tipe Beta

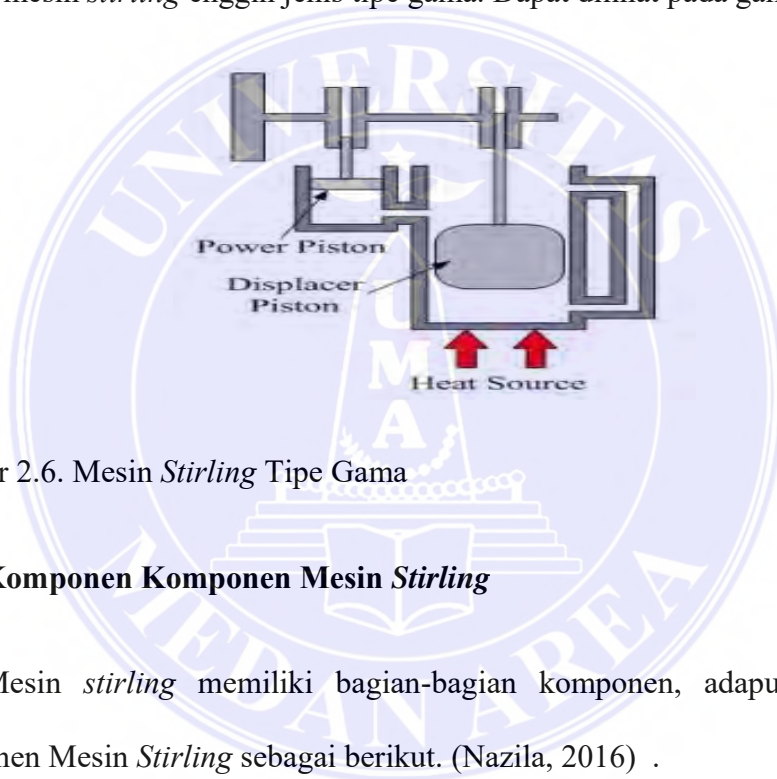
Mesin *stirling* dengan tipe beta merupakan tipe klasik dan cukup populer Bersama dengan konfigurasi gamma (γ). Motor yang di buat oleh Robert *Stirling* pada tahun 1816 menunjukkan bahwa motor tersebut menggunakan konfigurasi beta (β) mesin *stirling* beta (β) dan gamma (γ) menggunakan displacer hanya bedanya tipe beta (β), displacer dan power piston berada dalam satu silinder yang sama, sedngksn gama (γ) terpisah. Dapat di lihat mesin *stirling engine* jenis tipe beta. Dapat di lihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Mesin *Stirling* Tipe Beta

2.2.3. Mesin *Stirling* Tipe Gama

Mesin *stirling* tipe gama biasa di sebut juga penyederhanaan mesin *stirling* beta (β) dimana displacer dan *power* piston berada di silinder yang berbeda, tetapi masih terhubung dengan *flyweely* yang sama. Fluida kerjanya dapat dengan bebas bergerak di antara dua silinder tersebut. (Yuliarto M, 2010). Dapat di lihat mesin *stirling* enggin jenis tipe gama. Dapat dilihat pada gambar. 2.6.



Gambar 2.6. Mesin *Stirling* Tipe Gama

2.3. Komponen Komponen Mesin *Stirling*

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

2.3.1. *Heat Exchanger*

Heat Exchanger digunakan untuk membantu dalam pertukaran udara dalam satu medium ke medium lainnya (Indra et al., 2024), Pada silinder mesin *stirling* suhu tinggi harus dipertahankan pada ruang panas, sedangkan suhu rendah harus dipertahankan pada ruang dingin. Panas dari ujung panas sumber di transfer ke silinder, sementara panas dari silinder diteransfer ke ujung

dingin. Mesin *stirling* yang langsung dipanaskan tidak memiliki pertukaran panas yang signifikan (Kurniawan et al., 2024). 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 di perlihatkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Heat Exchanger*

2.3.2. Piston

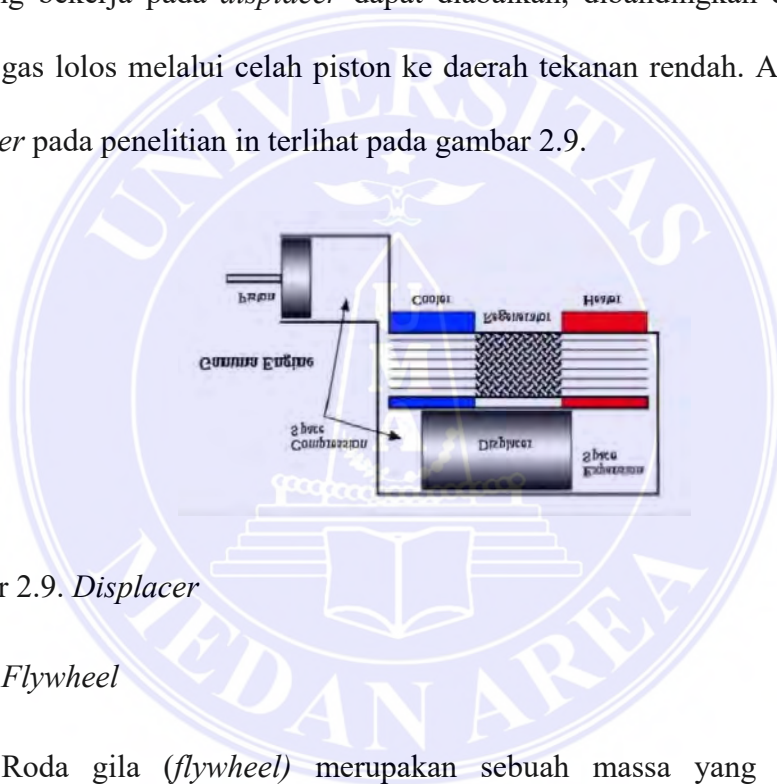
Piston adalah komponen penting dalam mesin pembakaran dalam dan beberapa mesin lainnya. Fungsinya adalah untuk mentransfer tekanan yang dihasilkan dari pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder menjadi gerakan mekanis. Piston bergerak naik turun di dalam silinder, yang kemudian diteruskan oleh *connecting rod* (batang penghubung) ke poros engkol (*crankshaft*), menghasilkan putaran yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan atau mesin. Dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Piston

2.3.3. *Displacer*

Hal ini memungkinkan fluida kerja untuk lolos dengan mudah melalui celah piston. *Displacer* berfungsi sebagai peminda udara (Nugraha, 2023). Pergerakan *displacer* tidak menyebabkan gas terkompresi atau terekspansi, maka pergerakan *displacer* tidak menyebabkan volume silinder berubah. tetapi 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 2.9.

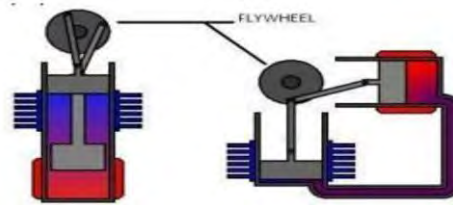


Gambar 2.9. *Displacer*

2.3.4. *Flywheel*

Roda gila (*flywheel*) merupakan sebuah massa yang berputar, dan dipergunakan sebagai penyimpan tenaga dalam mesin. Energi yang disimpan didalam 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 kecepatan rotasi, sehingga dapat meningkatkan kecepatan rotasi karena 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 2.10.



Gambar 2.10. *Flywheel*

2.3.5. *Burner*

Burner merupakan suatu alat yang penting didalam suatu kompor karena fungsi dari *burner* adalah tempat dimana pasokan bahan bakar dan udara disatukan, sehingga dapat menghasilkan kualitas api yang diinginkan (Lubis, 2024). *Burner* berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran gas hasil gasifikasi yang digunakan untuk memasak, *burner* juga merupakan tempat masuknya udara sekunde untuk membantu pembakaran gas (Nasution et.al., 2022). *Burner* merupakan tempat terjadinya suatu pembakaran dalam kompor. Dimana bahan bakar dan oksigen bertemu *burner* sangat berpengaruh dalam pembentukan nyala api didalam kontruksi kompor. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini ialah LPG. (Siregar, Jufrizal, Hasanah, & Agusdiandy, 2022). Adapun gambar *burner* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Burner*

2.4. Pemanas Pada Mesin *Stirling*

2.4.1. Sumber Panas Pada Mesin *Stirling*

Mesin *Stirling* adalah mesin kalor yang bekerja berdasarkan siklus *Stirling*, yang melibatkan kompresi dan ekspansi gas yang terjadi pada suhu berbeda. Sumber panas pada mesin *Stirling* adalah komponen kunci yang menentukan efisiensi dan kinerjanya. (Mawardi, Jufrizal, & Hidayah, 2022). Adapun jenis jenis sumber panas yang bisa di gunakan adalah.

1. Pembakaran Bahan Bakar Fosil, Mesin *Stirling* dapat menggunakan gas alam, minyak, atau batubara sebagai sumber panas dengan membakar bahan bakar tersebut untuk menghasilkan panas.
2. Panas Sisa (*Waste heat*), Mesin *Stirling* dapat memanfaatkan panas yang dihasilkan dari proses industri atau mesin lain, seperti pembangkit listrik atau mesin kendaraan, yang biasanya dibuang.
3. Bahan Bakar Biomassa, Mesin *Stirling* juga dapat menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar biomassa, seperti kayu atau sisa tanaman, yang merupakan sumber energi terbarukan.

2.4.2. Jenis Bahan Yang Digunakan Pada Sumber Panas (*Heater*)

Jenis bahan yang digunakan pada sumber panas, khususnya *Heater* adalah material yang mampu menahan suhu tinggi, tekanan, dan potensi korosi. Berikut tabel yang merangkum beberapa karakteristik umum dari berbagai jenis pipa *steam* atau pipa *boiler*. Dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jenis Pipa *Steam* atau Pipa *Boiler*

Bahan Pipa	Kisaran Suhu Operasi (°C)	Kisaran Tekanan Operasi (psi/bar)	Keunggulan	Kekurangan
Baja Karbon	150 - 400	0-1500 / 0-100	Ekonomis mudah didapat.	Rentan terhadap korosi, membutuhkan perlindungan tambahan.

2.5. *Software* CAD Untuk Industri Manufaktur

Industri manufaktur memang memerlukan *software* CAD untuk membuat desain dan perencanaan produk. Berikut beberapa rekomendasi *software* CAD yang sering digunakan di industri manufaktur:

2.5.1. CAD (*Computer Aided Design*)

Computer Aided Design adalah suatu program computer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. CAD bisa berupa gambar dua dimensi dan gambar tiga dimensi atau bisa disebut *solid modelling*, CAD adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan pembuatan desain yang prosesnya dibantu dengan computer. Sedangkan kegiatan membuat desain itu sendiri ternyata cukup luas artinya, (Jufrizal, Siregar, Saktisah, Putra, & Syahputra, 2022) dimulai dari pengumpulan ide, membuat sketsa (konsep), membuat model, membuat gambar detail, menganalisis desain, sampai dengan membuat simulasi dan animasi.

Pada awal tahun 1960-an, seorang *engineer* bernama Ivan Sutherland memperkenalkan sebuah produk computer yang dapat digunakan untuk membuat gambar sketsa program computer ini diberi nama

2.5.2. *AutoCAD*

Program yang sering digunakan untuk pengajaran CAD adalah *AutoCAD* yang merupakan sebuah aplikasi (*software*) yang digunakan untuk menggambar, mendesain gambar, menguji material dimana program tersebut mempunyai kemudahan dan keunggulan untuk membuat gambar secara tepat dan akurat (Atmajayani, 2018). *AutoCAD* merupakan sebuah program yang biasa digunakan untuk tujuan tertentu dalam menggambar dan merancang dengan bantuan computer dalam pembentukan model serta ukuran dua dan tiga dimensi atau lebih dikenali sebagai *Computer Aided Drafting and Design Program*.

(Yani, Ratnawati and Anoi, 2020). Adapun gambar aplikasi autocad dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. *AutoCAD*

2.5.3. *Solidworks*

SolidWorks adalah Selain *AutoCAD*, *SolidWorks* juga populer. Software ini digunakan oleh insinyur untuk membuat desain produk 3D. Keunggulannya terletak pada fitur navigasi tata letak yang memudahkan pengguna. *SolidWorks* juga dapat melakukan rendering. (Araoz, Salomon, Alejo, & Fransson, 2015).

SolidWorks juga perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) yang digunakan untuk merancang dan membuat model 3D dari produk mekanis dan komponen mereka. Dikembangkan oleh *Dassault Systèmes*, *Solidworks* memungkinkan insinyur dan desainer untuk membuat, mensimulasikan, menganalisis, dan mendokumentasikan desain produk mereka. Perangkat lunak ini banyak digunakan di berbagai industri, termasuk manufaktur, otomotif, dan teknik mesin, (Araoz, Salomon, Alejo, & Fransson, 2015). karena kemampuannya untuk menghasilkan model yang akurat dan realistis serta mendukung berbagai proses desain dan rekayasa. Adapun aplikasi *SolidWorks* dapat dilihat gambar 2.13.



Gambar 2.13. *SolidWorks*



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Perumahan graha garuda mas blog II No. 39 dusun V desa sigara-gara kecamatan patumbak kabupaten deli Serdang provinsi Sumatra utara , Indonesia, kode pos: 20361.

3.1.2. Waktu

Penelitian dilakukan selama 3 bulan dengan jadwal kegiatan penelitian dilihat pada table 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

Aktivitas	2024-2025															
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■	■														
Penulisan Proposal		■	■	■												
Seminar Proposal				■												
Proses Penelitian					■	■	■	■								
Pengelolaan data penyelesaian laporan									■	■	■	■				
Seminar Hasil													■	■	■	■
Evaluasi dan persiapan siding														■	■	■
Sidang sarjana																■

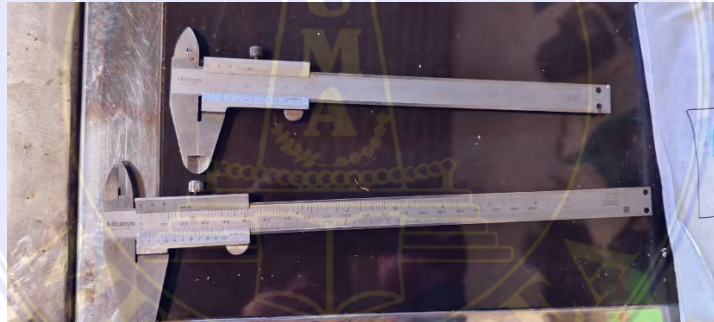
3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Jangka Sorong

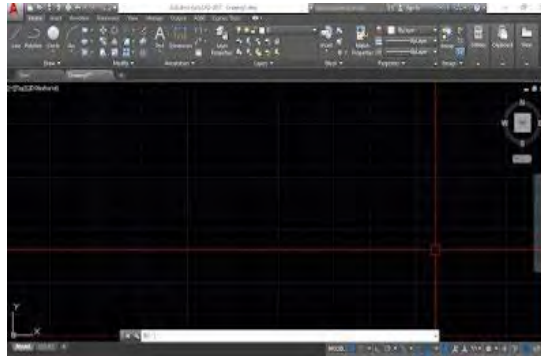
Jangka sorong tidak hanya digunakan untuk mengukur panjang tetapi jangka sorong juga dapat digunakan untuk mengukur diameter sebuah cincin, diameter bagian dalam pipa dan luar pipa, dapat digunakan untuk mengukur kedalaman sebuah benda serta dapat digunakan untuk mengukur luas benda, jangka sorong dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur diameter, tinggi, tebal ukuran *heater*. dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Jangka Sorong

2. *AutoCAD*

AutoCAD adalah aplikasi untuk mendesain suatu rancangan bahan/ alat yang akan dibuat. Dalam penelitian ini *AutoCAD* digunakan untuk mendesain *heater*. Adapun tampilan *AutoCAD* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. *AutoCAD*

3. Mesin Bubut

Mesin bubut (*Turning Machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat atau *tools* sebagai alat untuk menyayat benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris. Pada proses benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada *spindle* mesin, (Atmantawarna, 2013). Untuk spesifikasi mesin bubut dapat dilihat pada table 3.2, sebagai berikut:

Tabel 3.2. Spesifikasi Mesin Bubut

Jenis mesin bubut	CW62328
Maks. Ayun di atas tempat tidur	350 mm
Maks. Panjang benda kerja	1000 mm

Dalam penelitian ini mesin bubut digunakan untuk menyayat bahan pipa *steam* dan plat tebal yang akan dijadikan *heater*, adapun mesin bubut dapat terlihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3. Mesin Bubut CW62328

4. Gerinda

Mesin gerinda adalah salah satu mesin yang digunakan untuk mengasah atau memotong benda kerja. Prinsip kerja dari mesin gerinda adalah batu gerinda yang berputar kemudian bergesekan dengan benda kerja sehingga terjadi pemotongan atau pengasahan. Dalam penelitian ini gerinda digunakan untuk proses pemotongan plat dan *finishsing* setelah dilas, adapapun gerinda yang digunakan dalam penelitian ini adalah gerinda tangan terlihat pada gambar 3.4.



Gamba 3.4. Gerinda

5. Las Listrik

Las busur listrik atau umumnya disebut dengan las listrik adalah suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas (Putri, 2010). Las listrik dalam penelitian ini digunakan untuk menyambung logam adapun gambar las listrik dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Mesin Las Listrik

3.2.2. Bahan

Adapun bahan-bahab yang dipergunakan dalam prosen penelitian ini sebagai berikut.

1. Pipa *Steam*

Pipa *steam* (Pipa Uap) pipa yang digunakan untuk mengalirkan uap dari satu tempat ke tempat lain dalam sistem pemanas atau pembangkit energi. Uap yang dialirkan melalui pipa ini biasanya dihasilkan oleh *boiler* dan digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pemanasan ruangan, proses industri, atau

pembangkitan listrik. Pipa *steam* harus tahan terhadap suhu dan tekanan tinggi, serta memiliki kemampuan untuk menahan korosi yang disebabkan oleh uap air. Dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.6. Pipa *Steam*

1. Plat Baja

Besi plat lembaran logam yang umumnya terbuat dari baja dan memiliki ketebalan yang bervariasi. Besi plat banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti konstruksi, pembuatan mesin, dan berbagai produk logam lainnya. Besi plat dapat dibentuk, dipotong, dan dilas sesuai kebutuhan spesifik proyek. Beberapa jenis besi plat yang umum adalah plat hitam, plat putih, dan plat *bordes*, yang masing-masing memiliki karakteristik dan penggunaan yang berbeda. Dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Plat Baja

2. Elektroda

Elektroda (Kawat Las) material berbentuk kawat yang digunakan dalam proses pengelasan untuk menyambungkan dua atau lebih potongan logam. Kawat ini berfungsi sebagai elektroda pengisi yang mencair selama proses pengelasan dan membantu membentuk sambungan yang kuat antara potongan logam yang dilas. Kawat las biasanya terbuat dari berbagai jenis logam atau paduan, sesuai dengan jenis logam yang akan dilas dan metode pengelasan yang digunakan, seperti pengelasan MIG, TIG, atau las busur. Dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Elektroda

3.3. Metode Penelitian

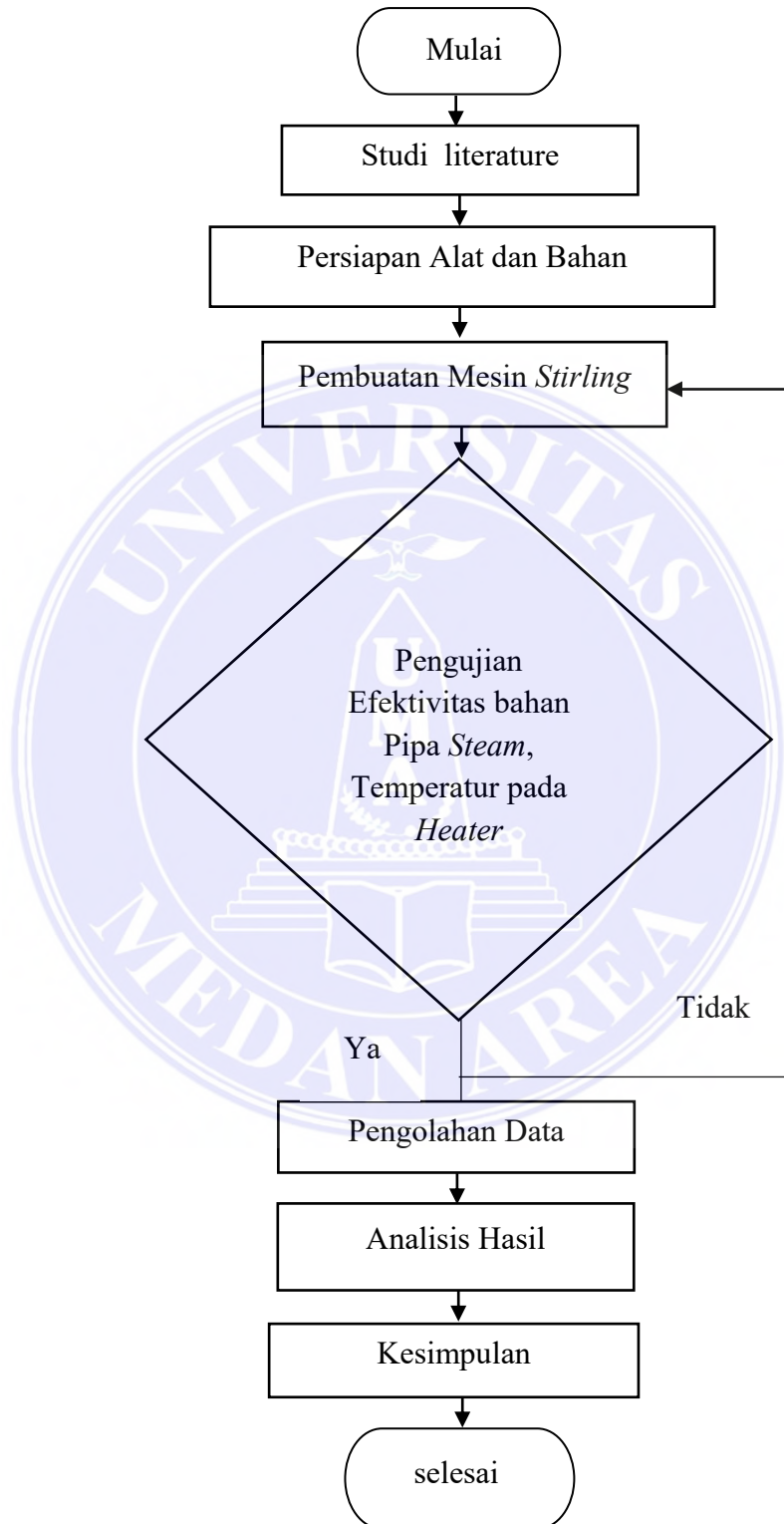
Metode dalam penelitian ini ialah proses pembuatan *heater* mesin *stirling* mCHPSE-012021 dan adapun prosesnya sebagai berikut.

1. Membuat desain *heater*.
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Pemotongan logam pipa *steam* dan plat baja
4. Pengelasan pipa *steam* dan plat baja
5. *Finishing heater* dengan menggunakan mesin bubut



3.4. Diagram Alir Penelitian

Untuk gambar diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3. 8.

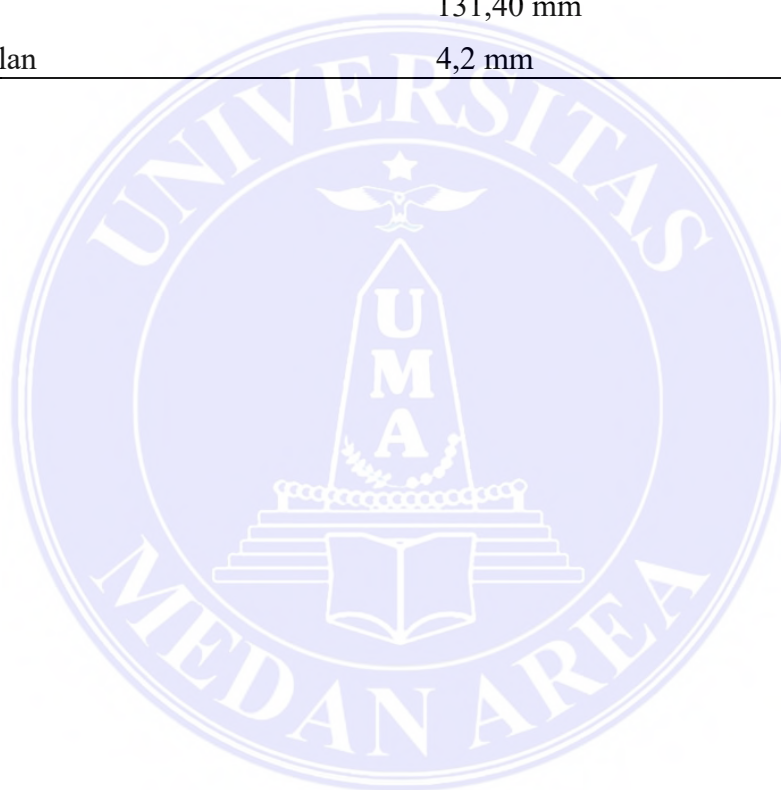


Gambar 3.9. Diagram Alir Penelitian

Tinggi	70 mm
Ketebalan	24 mm

Tabel 4.5. Spesifikasi *Heater* Mesin *Stirling* Yang Digunakan

Parameter	Jenis/Dimensi
Bahan	Pipa <i>Steam</i>
Diameter dalam	67,10 mm
Diameter luar	71,30 mm
Tinggi	131,40 mm
Ketebalan	4,2 mm



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas maka kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Desain *heater* ini dikerjakan dengan menggunakan aplikasi *AutoCAD*.
2. Ukuran dimensi *heater* ialah diameter dalam *heater* 67,10 mm, diameter luar *heater* 71,30 mm, diameter panjang *heater* 131,40 mm, diameter tebal dinding *heater* 4,2 mm.
3. Bahan yang digunakan untuk pembuatan *heater* ialah pipa *steam*.
4. Proses mnufaktur yang dikerjakan ialah pemotongan, pembubutan, pengelasan dan akhir hasil jadi *heater*.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas maka saran penulisan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Memakai desain *heater* yang berbeda.
2. Memakai bahan untuk *heater* yang berbeda.
3. Pengujian pada mesin *stirling* lebih teliti.
4. *Finishing* yang lebih bagus lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Araoz, J., Salomon, M., Alejo, L., & Fransson, T. M. (2015). Numerical Simulation for the design analysis of kinematic Stirling Engines. *159*, 633-650.

- Faculty, T. E. (2000). Manufacturing and Testing of a V-Type Stirling Engine. *Turk J Engine Environ Sci*, 24, 71-80.
- Gheith, R., Aloui, F., & Nasrallah, S. (2015). Determination of adequate regenerator for a Gamma-type Stirling Engine. *Appl Energy*, 139, 272-280.
- Hidayat, M. A. (2024). *Pengujian Burner Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/24412>.
- Hidayat, M. A., Al Ridho, F. F., Jufrizal, J., Supriatno, S., & Nurdiana, N. (2023). Manufaktur dan Pengujian Burner LPG untuk Pemanasan Heater Mesin Stirling mCHPSE-012021. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 2(3), 74–82.
- Indra, P., Jufrizal, & Supriatno. (2024). *Pengujian Kinerja Cooling Water untuk Mesin Stirling tipe Gamma Skala Kecil*. 3(3), 10–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i3.146> IRA
- Indrawanto, S. (2023). *Pengujian Kemampuan dari Komponen Bagian Piston Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/23968>
- Jufrizal, Napitulu, F. H., Ilmi, & Ambarita, H. (2020). Manufacturing and Testing Prototype of a Gamma Type Stirling Engine for Micro-CHP Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725, 1. Retrieved from <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012016>
- Jufrizal, Napitulu, F. H., Ilmi, Ambarita, H., & Meliala, M. (2022a). Ideal Cycle Thermodynamic Analysis for Gamma-Type Stirling Engine. *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)*, 14.
- Jufrizal, Napitupulu, F. H., Ilmi, Ambarita, H., & Meliala, M. (2022b). Thermodynamic Analysis of a Gamma-Type Stirling Engine for MCHP Application. In M. F. Bin Abdollah, H. Amiruddin, A. Phuman Shing, F. A. Munir, & A. Ibrahim, *In Proceedings of the 7th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced*

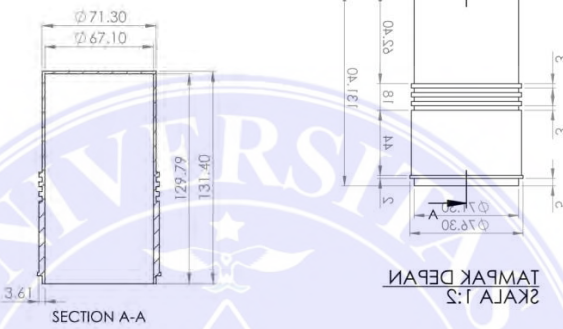
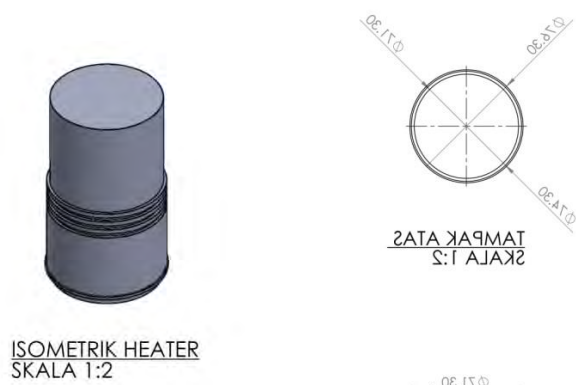
- Materials (ICE-SEAM 2021)* (pp. 225-229). Melaka, Malaysia: Springer Nature Singapore: In a Ibrahim.
- Jufrizal, Napitupulu, F. H., Ilmi, Ambarita, H., Supriatno, & Irwanto, M. (2023). Integration of a Gamma-Type Stirling Enggin with LPG Coking Stove For Micro-Scale Combinat Heat and Power Genaration. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 108, 1-6.
- Jufrizal, Siregar, Z. H., Saktisah, T. J., Putra, B. K., & Syahputra, M. R. (2022). Uji Kinerja Burner Gas LPG Mesin Stirling dengan Variasi Laju Aliran Udara. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1, 5-10.
- Jufrizal, J., Napitupulu, F. H., Abdullah, I., Ambarita, H., & Tarigan, D. A. S. (2022). Uji Potensi Limbah Panas dari Kompor Gas Satu dan Dua Tungku yang Dibuang ke Lingkungan. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(2), 74–81. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i2.20>
- Kurniawan, E., Jufrizal, & Nurdiana. (2024). *Manufaktur Heater Menggunakan Bahan Pipa Steam untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil*. 3(3), 23–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i3.155> IRA
- Lubis, R. (2024). *Studi Kompor Masak SNI sebagai Dasar Perencanaan Burner Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/24851>
- Lubis, R., Jufrizal, J., Supriatno, S., & Nurdiana, N. (2024). Analisis Efisiensi Thermal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Burner Kompor SNI Sebagai Dasar Acuan Perencanaan Burner Mesin Stirling. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(2), 1–7.
- Mawardi, J. a. (2022). Uji Kerja Burner LPG Mesin Stirling dengan Variasi Konsumsi Bahan Bakar. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1.
- Mawardi, Jufrizal, & Hidayah, M. (2022). Uji Kinerja Burner LPG Mesin Stirling Dengan Varias Konsumsi Bahan Bakar. *IRAJTMA*, 1, 35-40.

- Narayan, S., & Gupta, V. (2015). Overview of Working of Stirling Engines. *Journal of Engineering Studies and Research, Vol 21*.
- Nazila, I. P. (2016). *Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gama Dengan Sumber Panas Reflektor Parabolik Dan Sistem Aliran Air Pada Reservoir Rendah*. Malang.
- Nugraha, N. T. A. (2023). *Pengujian Kemampuan dari Komponen Bagian Displacer Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/23565>
- Ridho, F. F. Al. (2024). *Manufaktur Burner Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/jspui/handle/123456789/25803>
- Rokan, I. Z. (2023). *Pengujian Efektivitas Heater Mesin Stirling mCHPSE-012021* [Universitas Medan Area]. <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/23573>
- Siregar, Hasrudy, Z., Jufrizal, & Putra, B. K. (2022). Pengaruh Penambahan Regenerator Terhadap Performansi Mesin Stirling Type Gamma. *Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi, 8*, 1-8.
- Siregar, Z. H., Jufrizal, Hasanah, M., & Agusdiandy, M. D. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Sumber Panas Terhadap Temperatur Udara Dalam Heater Mesin Stirling. *IRAJTMA, 1*, 11-16.
- Smirnov, D., & Golkar, A. (2015). Stirling Engine Systems Tradespace Exploration Framework. *ELSEVIER, 44*.
- Yulianto M, A. (2010). Perencanaan Termodinamika dan pengujian Prototipe Motor Stirling Tipe Alpa Dengan Konvigurasi. *ITENASI, 90*.

LAMPIRAN A

PROSES MANUFAKTUR HEATER

1. Desain



2. Pengadaan Bahan



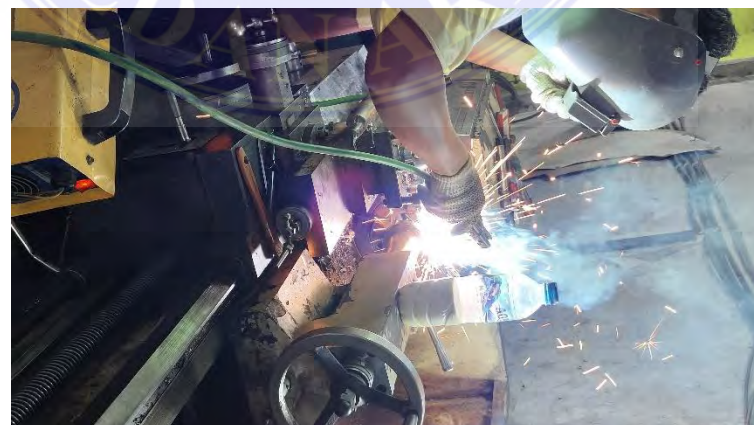
3. Proses Pemotongan Bahan



4. Proses Pembubutan



5. Proses Pengelasan



6. Hasil Proses Manufaktur



LAMPIRAN B
PUBLIKASI ILMIAH

<https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i3.155>

