

PENGUJIAN *BURNER* MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021

SKRIPSI

OLEH:

**MUHAMMAD ARIF HIDAYAT
188130003**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/6/24

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

HALAMAN JUDUL

PENGUJIAN *BURNER* MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021

SKRIPSI

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

OLEH:
MUHAMMAD ARIF HIDAYAT
188130003

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/6/24

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

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengujian *Burner* Mesin *Stirling* mCHPSE-012021

Nama Mahasiswa : Muhammad Arif Hidayat

NIM : 188130003

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing



Jufrizal, S.T., MT
Pembimbing I



Dr. E. Supratno, S.T., MT.
Dekan



Dr. Istwandi, S.T., M.T
Ka. Prodi

Tanggal lulus: 27 Maret 2024

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/6/24

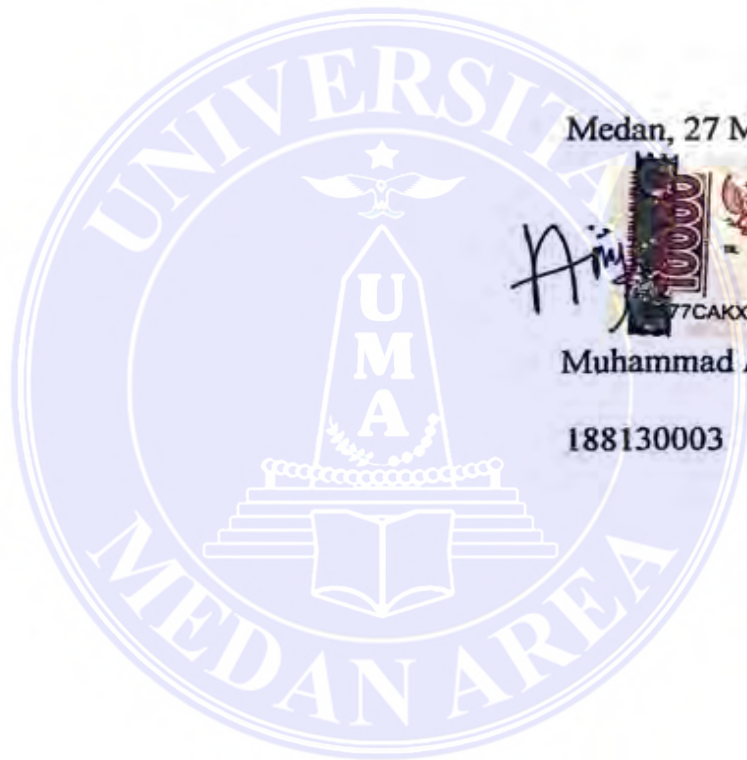
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)28/6/24

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 sorma, 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, 27 Maret 2024



Muhammad Arif Hidayat

188130003

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 : Muhammad Arif Hidayat

NPM : 188130003

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 *Burner* Mesin *Stirling* mCHPSE-012021”

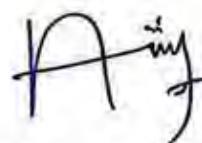
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada Tanggal : 27 Maret 2024

Yang menyatakan

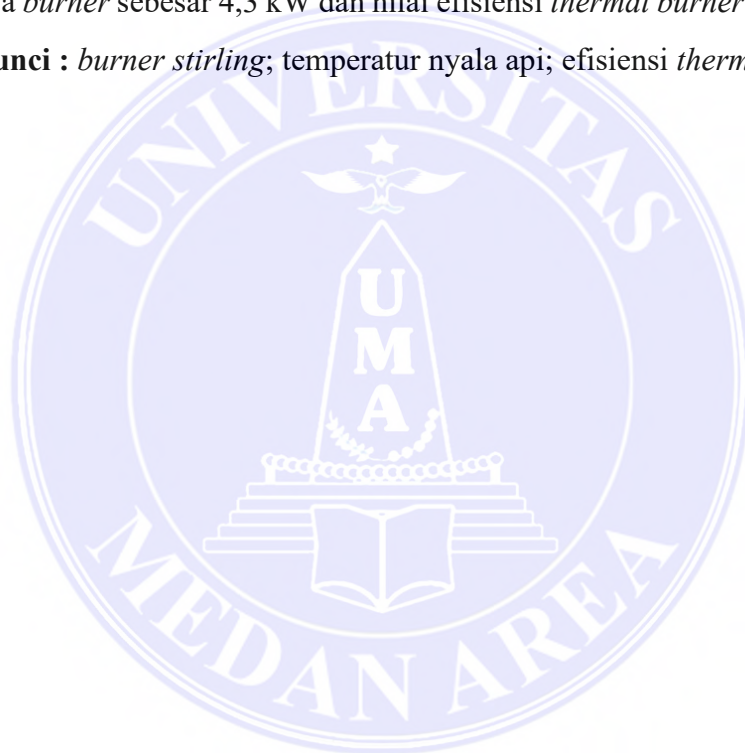


(Muhammad Arif Hidayat)

ABSTRAK

Burner striling merupakan suatu alat yang menghasilkan kualitas api dan alat yang memanaskan *heater*, sehinga dapat menggerakkan *displacer*. Tujuan penelitian ini adalah (1) mendapatkan nilai temperatur nyala api, (2) menghitung konsumsi bahan bakar, (3) memperoleh daya *burner* dan (4) analisis nilai efisiensi *thermal burner*. Metode yang digunakan adalah metode kualitatif. Bahan uji yang digunakan yaitu gas lpg 3kg, air *compressor* izumi, bejana, air. Alat uji yang digunakan yaitu *burner*, timbangan digital, *rotameter flow meter* udara control, regulator dan selang sni, pipa stik kompor, *stopwatch*, *thermometer controller*, kabel *thermocouple* sensor, *thermowell NPT stainless*. Hasil penelitian ini ialah nilai rata-rata temperatur nyala api sebesar 581,02 °C, nilai min temperatur nyala api sebesar 31,9°C, nilai max temperatur nyala api sebesar 692,3°C, nilai konsumsi bahan bakar sebesar 0,332 kg, nilai daya *burner* sebesar 4,3 kW dan nilai efisiensi *thermal burner* sebesar 19,7 %.

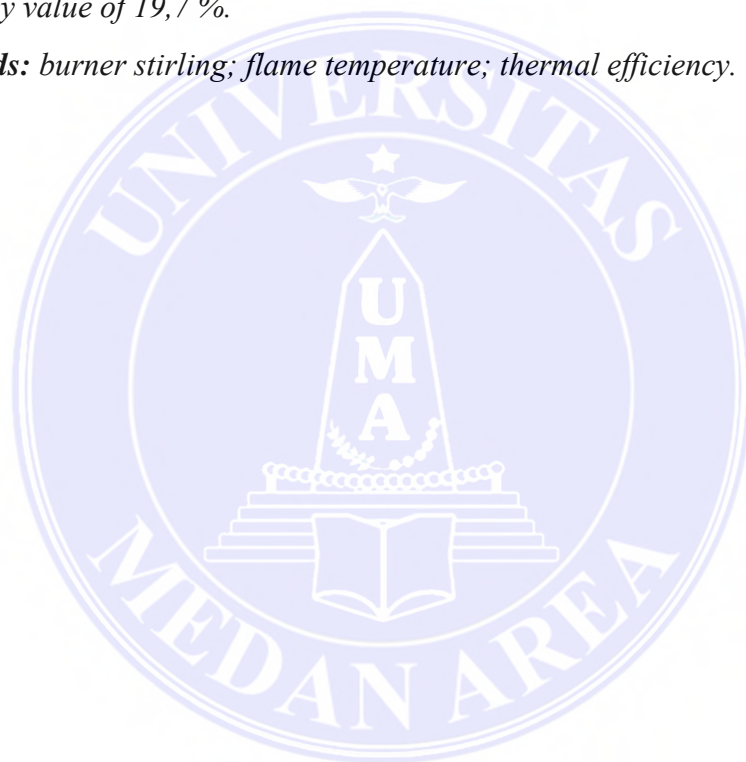
Kata Kunci : *burner stirling*; temperatur nyala api; efisiensi *thermal*.



ABSTRACT

Burner striling is a device that produces fire quality and a tool that heats the heater, so that it can drive the displacer. The objectives of this study are (1) obtaining the flame temperature value, (2) calculating fuel consumption, (3) obtaining burner power and (4) analyzing the thermal burner efficiency value. The method used is qualitative method. The test materials used are 3kg lpg gas, izumi air compressor, vessels, water. The test equipment used are burners, digital scales, rotameter flow meter air control, regulator and hose, stove stick pipe, stopwatch, thermometer controller, thermocouple sensor cable, stainless NPT thermowell. The results of this study are the average value of flame temperature of 581.02°C, min value of flame temperature of 31.9°C, max value of flame temperature of 692,3°C, fuel consumption value of 0,33 kg, burner power value of 4,3 kW and thermal burner efficiency value of 19,7 %.

Keywords: *burner stirling; flame temperature; thermal efficiency.*

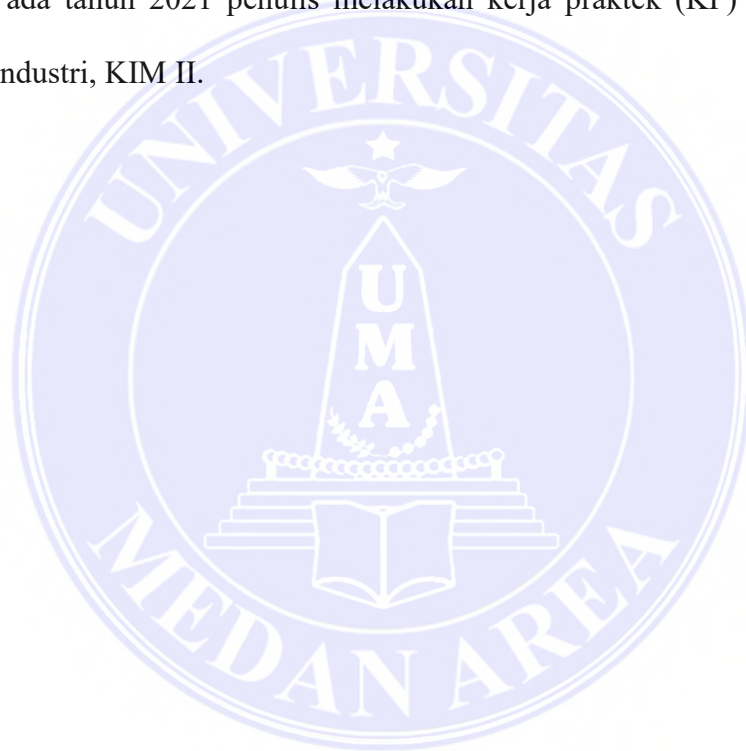


RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahir di Medan, Kec. Percut Sei Tuan, Kab. Deli Serdang, Prov. Sumatra Utara pada tanggal 21 November 2000, dari ayah bernama sulistiawadi dan ibu bernama nurleli. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Tahun 2018 penulis lulus dari SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Pada tahun 2021 penulis melakukan kerja praktek (KP) di PT. Pascific Medan Industri, KIM II.



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 *burner* mesin *stirling* mCHPSE-012021. Terima kasih penulis sampaikan kepada bapak Jufrizal, S.T., M.T selaku pembimbing 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



(Muhammad Arif Hidayat)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Mesin <i>Stirling</i>	6
2.2. Jenis – jenis Mesin <i>Stirling</i>	6
2.3. Bagian – bagian Mesin <i>Stirling</i>	9
2.4. Bahan Bakar (Gas LPG).....	16
2.5. Kompresor	18
2.6. Jenis- jenis Nyala Api.....	19
2.7. Suhu (Temperatur)	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1. Tempat dan Waktu	18
3.2. Bahan dan Alat	18
3.3. Metode Penelitian.....	28
3.4. Prosedur Kerja	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil.....	32
4.2 Pembahasan	39
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Simpulan.....	37
5.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Dimensi ukuran burner.....	12
Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian	18
Tabel 3.2. Variabel Peubah Yang Diamati Pada Penelitian.....	29
Tabel 4.1. Tempratur Hasil Uji	33
Tabel 4.2. Hasil Uji Kedua Knob Kompor Api Besar	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mesin Stirling tipe Alpha.....	7
Gambar 2.2. Mesin Stirling Tipe Beta.....	8
Gambar 2.3. Mesin Stirling Tipe Gamma.....	8
Gambar 2.4. Heat Exchanger.....	9
Gambar 2.5. Piston.....	10
Gambar 2.6. Displacer.....	11
Gambar 2.7. Flywheel.....	12
Gambar 2.8. (a)Tampak Depan,(b)Tampak Atas,(c)Tampak Potongan AD-AD .	14
Gambar 2.9. Api Merah.....	20
Gambar 2.10. Api Biru.....	20
Gambar 2.11. Api Jingga.....	21
Gambar 2.12. Api Putih.....	21
Gambar 3.1. Tabung Gas LPG.....	22
Gambar 3.2. AiR Compressor Izumi.....	22
Gambar 3.3. Burner.....	23
Gambar 3.4. Timbangan Digital.....	23
Gambar 3.5. Flow meter.....	24
Gambar 3.6. Regulator dan Selang SNI.....	24
Gambar 3.7. Pipa stik.....	25
Gambar 3.8. Stopwatch.....	25
Gambar 3.9. Thermometer controller UT320D.....	26
Gambar 3.10. kabel Thermocouple sensor.....	27
Gambar 3.11. Thermowell NPT Stainless.....	27
Gambar 3.12. Skema pengujian.....	30
Gambar 3.13. Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 4.1. Pengujian Temperatur (a) air dan (b) burner.....	32
Gambar 4.2. Perbandingan Temperatur Nyala Api dan Temperatur Air.....	40

DAFTAR NOTASI

m_f	= Konsumsi bahan bakar (kg)
m_1	= massa bahan bakar sebelum digunakan (kg)
m_2	= massa bahan bakar sesudah digunakan (kg)
FC	= Fuel Consumption (kg/h)
mf	= massa pemakaian bahan bakar (kg)
t	= Waktu konsumsi bahan bakar (h)
I	= Daya burner (kW)
E	= <i>Low heating valve</i> (kJ/kg)
m_f	= Konsumsi bahan bakar (kg)
Δt	= Waktu konsumsi bahan bakar (s)
η_{burner}	= Efisiensi burner (%)
M_w	= massa air (kg/m ³)
M_b	= Massa bejana air (kg)
C_{pw}	= Panas spesifik air (kJ/kg.K)
C_{pb}	= Panas spesifik bejana (kJ/kg.K)
T_{min}	= Temperatur awal (°C)
T_{max}	= Temperatur akhir (°C)
M_u	= massa uap (kg)
H	= panas laten penguapan air (kJ/kg)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan besaran yang kekal, artinya energi tidak dapat diciptakan, tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain (Ninla Elmawati Falabiba et al., 2014). Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa perubahan, dari yang awalnya mayoritas menggunakan biomassa seperti kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan energinya, berubah menjadi fosil seperti batu bara, minyak dan gas bumi yang dipicu revolusi industri (Setyono & Kiono, 2021). Penggunaan energi yang berasal dari fosil khususnya minyak bumi dan batu bara, ketersediaan energi fosil semakin menipis (Azhar & Satriawan, 2018).

Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor, yakni mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis (Aprizal, 2016). Untuk mengatasi energi fosil yang semakin menipis, penelitian ini mencoba membuat mesin tanpa bahan bakar fosil, seperti mesin stirling. Mesin *Stirling* salah satu teknologi yang memanfaatkan perbedaan suhu sebagai pendorong gerak berkelanjutan (Kristiani et al., 2020). Mesin *Stirling* merupakan mesin pembakaran eksternal yang menggunakan udara atau gas sebagai fluida kerjanya dan bekerja berdasarkan prinsip peredaran termodinamika (Purwandari, 2012). Mesin *stirling* adalah suatu mesin kalor yang digerakkan melalui siklus kompresi dan ekspansi pada fluida kerja dalam wujud gas (Kristanto, 2012).

Mesin *stirling* dapat dioperasikan dengan berbagai sumber panas, seperti tenaga matahari, kimia maupun nuklir dan perbedaannya dengan mesin pembakaran dalam lain, mesin ini memiliki potensi yang lebih efisien, lebih tenang, dan lebih mudah dalam perawatan (Rahmat, 2019). *Stirling Engine* ditemukan tahun 1816 oleh Robert Stirling (1790-1878). Saat itu disebut mesin udara dengan model mesin pembakaran luar siklus tertutup. Dia mematenkan temuan itu pada 27 September 1816 dan berlaku efektif 20 Januari 1817 atau ketika dia baru berumur 26 tahun (Putro, 2020). Robert Stirling menemukan *stirling engine* (yang beliau sebut "air engine") karena mesin uap pada masa itu seringkali meledak, membunuh dan melukai orang-orang berada di dekat mesin uap tersebut pada saat meledak. Mesin yang dibuat Robert Stirling lebih aman dengan alasan tidak akan meledak, dan mesin-mesin tersebut memproduksi daya yang lebih besar dari pada mesin uap pada saat itu (Apandi, 2019).

Mesin *Stirling* dan Ericson memiliki sejarah cukup panjang, telah diteliti dengan sangat baik oleh Finkelstein (1959), Zarinchang (1972) dan Ross (1977). Robert Stirling sebagai penemu awal mesin panas regeneratif, menemukan mesin regeneratif siklus tertutup pada tahun 1816 dan mengembangkannya bertahun-tahun bersama saudaranya James Stirling (Insan, 2020). Mesin *Stirling gamma* seperti mesin *Stirling beta*, di mana piston tenaga sudah terpasang di dalam silinder yang terpisah samping silinder piston displacer, tapi masih terhubung ke roda gila sama. Mesin *stirling* ialah mesin dengan udara panas (*hot-air machine*) dikenal karena cara kerjanya yang mudah, kemampuannya menggunakan berbagai jenis bahan bakar, selain itu operasinya aman, tidak berisik, efisiensinya memadai (*moderate*), stabil dan rendah biaya perawatannya (Aprizal, 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 (Jufriзал et al., 2020). Burner berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran gas hasil gasifikasi yang digunakan untuk memasak, burner juga merupakan tempat masuknya udara sekunder untuk membantu pembakaran gas. Karena itu burner juga merupakan tempat menaruh wajan atau panci (Nasution et al., 2022). Berdasarkan uraian diatas maka dalam penelitian ini penulis akan meneliti pengujian *burner* mesin *stirling* mCHPSE- 012021.

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:

1. Bahan bakar BBM yang terjangkau.
2. Material yang lebih bagus.
3. Besarnya nilai efisiensi termal dan efektivitas pada *burner*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai temperatur nyala api.
2. Menghitung konsumsi bahan bakar.
3. Memperoleh daya *burner*.
4. Analisis nilai efisiensi thermal *burner*.

1.4 Hipotesis Penelitian

Burner pada mesin stirling diharapkan dapat menghasilkan nyala api yang efektif. Yang meliputi beberapa bagian yaitu temperatur api dan laju aliran bahan bakar gas terhadap burner. Pengaruh perpindahan kalor terhadap burner dan lubang yang terdapat pada *burner* berpengaruh terhadap tekanan gas yang keluar sehingga kualitas api dan temperatur yang diinginkan *burner* dapat bekerja dengan stabil.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan *burner* yang efektif.
2. Mengurangi pemakaian BBM.
3. Mentransfer kalor dengan cepat, optimal dan konstan sehingga kinerja pada mesin *stirling* stabil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin *Stirling*

Mesin *Stirling* merupakan teknologi lama yang dikembangkan kembali pada zaman ini. Teknologi ini kembali dikembangkan karena dibutuhkan teknologi yang ramah lingkungan, sumber energi fleksibel, dan efisiensi tinggi. Telah diketahui bahwa secara teori, Mesin *Stirling* merupakan teknologi yang memiliki efisiensi mendekati efisiensi Carnot dengan proses isothermal dan isokhorik (Zakaria et al., 2013). Teknologi ini mengkonversi energi panas menjadi energi mekanik. Dari energi mekanik dapat dikonversi menjadi energi listrik jika dihubungkan pada dinamo generator listrik. Mesin *Stirling* adalah mesin pembakaran eksternal yang menggunakan udara atau gas sebagai fluida kerjanya dan bekerja berdasarkan prinsip peredaran termodinamika. Ada tiga jenis utama dari mesin *stirling* yaitu *alpha stirling*, *beta stirling*, dan *gamma stirling*. Mesin *stirling* biasa digunakan sebagai mesin pompa, mesin pembangkit listrik, dan mesin bertenaga surya (Purwandari, 2012).

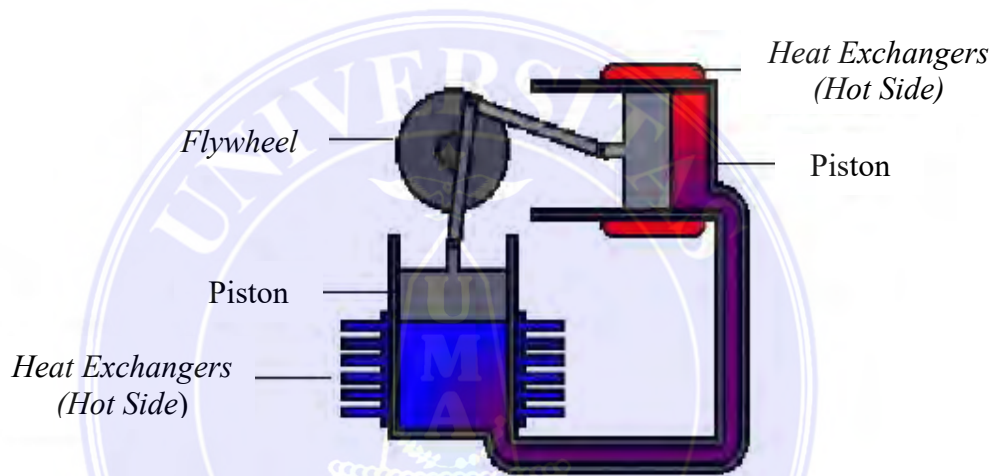
2.2. Jenis – jenis Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* memiliki beberapa jenis, adapun jenis-jenis Mesin *stirling* sebagai berikut (Lhokseumawe et al., 2020):

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

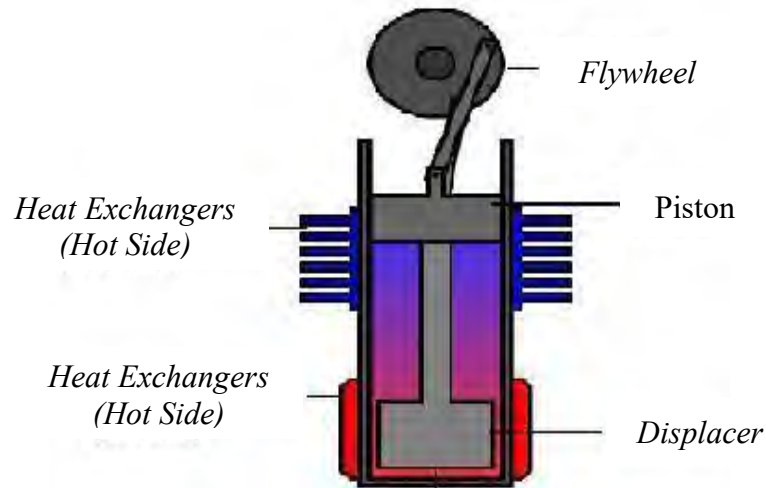
suhu tinggi penghantar panas (silinder yang dibakar) dan silinder dingin terletak di dalam displacer suhu rendah. Jenis mesin ini memiliki rasio power-to-volume tinggi, namun memiliki masalah teknis karena apabila suhu piston tinggi biasanya panas akan merambat ke pipa pemisah silinder. Dalam prakteknya, piston ini biasanya membawa isolasi yang cukup besar untuk bergerak jauh dari zona panas dengan mengorbankan beberapa ruang mati tambahan. Pada gambar 2.1, terlihat mesin stirling tipe alpha.



Gambar 2.1. Mesin Stirling tipe Alpha

2.2.2. Mesin Stirling Tipe Beta

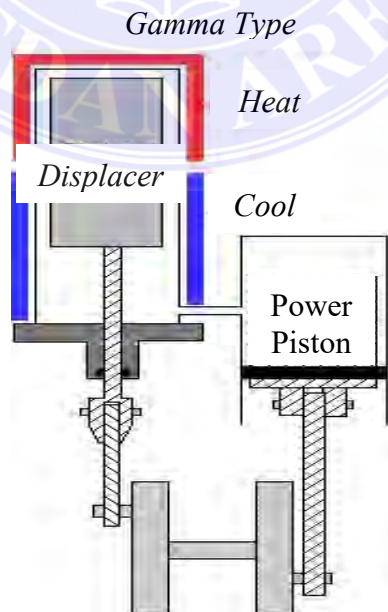
Mesin *Stirling beta* memiliki piston daya tunggal yang diatur dalam silinder yang sama pada poros yang sama sebagai displacer piston. Silinder Piston displacer yang cukup longgar hanya berfungsi untuk antar jemput gas panas dari silinder panas ke silinder dingin. Ketika silinder dipanaskan gas mendorong dan memberikan piston kekuatan. Ketika piston terdorong ke dingin (titik bawah) silinder mendapat momentum dari mesin, dan ditingkatkan dengan roda gila. Tidak seperti jenis *Alpha*, jenis *beta* tidak akan menyebabkan isolator (pipa pemisah jika dalam bentuk *Alpha*) menjadi panas. Pada gambar 2.2, terlihat mesin stirling tipe gamma.



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

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*

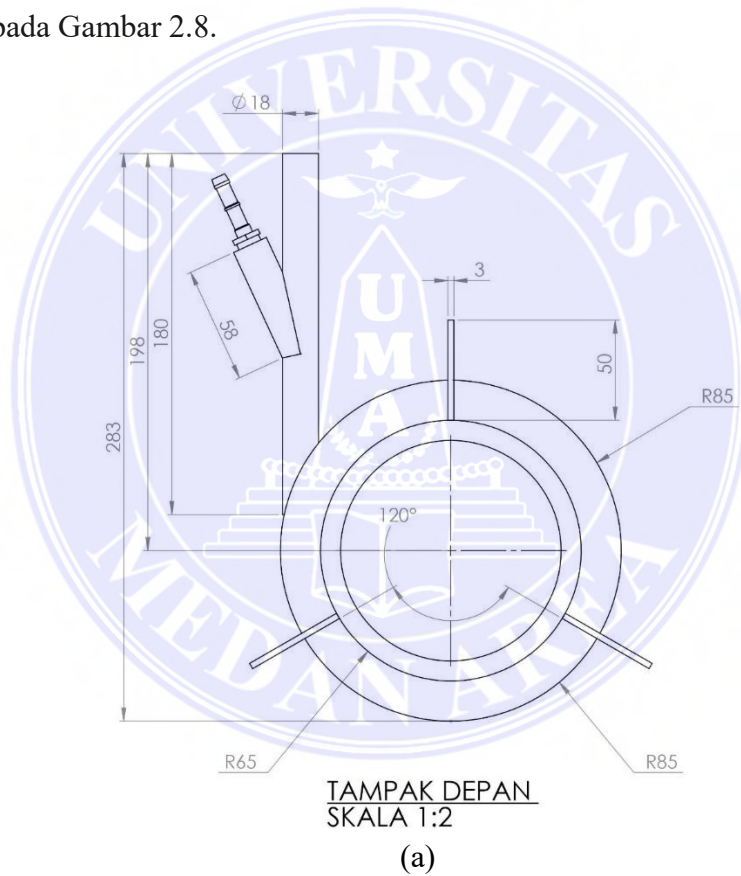
2.3.5. *Burner*

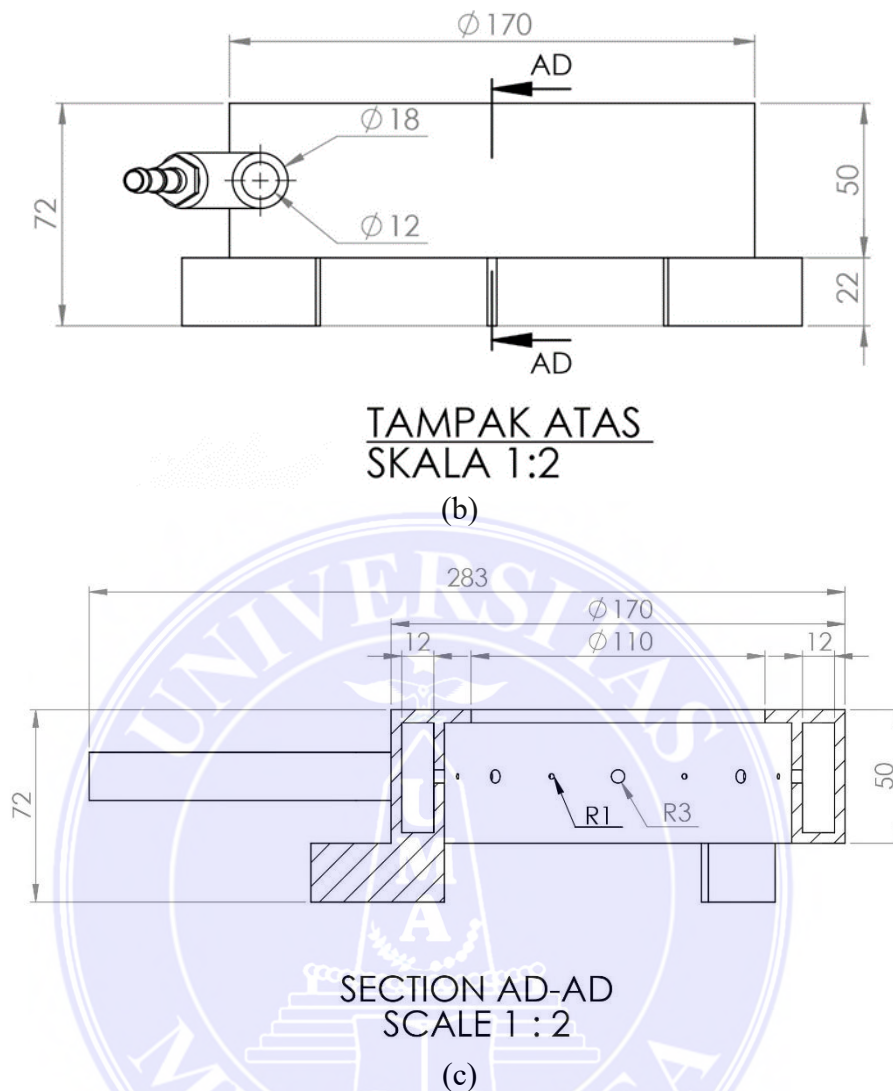
Burner merupakan suatu alat yang penting di dalam suatu kompor karena fungsi dari *burner* adalah tempat dimana pasokan bahan bakar dan udara di satukan, sehingga dapat menghasilkan kualitas api yang di inginkan. *Burner* berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran gas hasil gasifikasi yang digunakan untuk memasak, *burner* juga merupakan tempat masuknya udara sekunder 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 di dalam konstruksi kompor. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini ialah LPG. Adapun dimensi ukuran burner mesin stirling mCPSE-012021 terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Dimensi ukuran *burner*

No	Parameter	Jenis/Dimensi
1.	Bahan	<i>Stainless Steel 304</i>
2.	Diameter dalam	110 mm
3.	Diameter luar	170 mm
4.	Tinggi	50 mm
5.	Panjang pipa input	180mm
6.	Diameter input	18 mm
7.	Diameter Output kecil	1 mm x 8
8.	Diameter Output Besar	3 mm x 8

Jumlah lubang *burner* merupakan jumlah titik lubang yang berada di *burner*, dimana fungsi dari lubang burner adalah tempat keluarnya bahan bakar dan oksigen sehingga dapat terjadi pembakaran. Jumlah lubang di *burner* mempengaruhi kualitas nyala api dan jumlah bahan bakar. Semakin banyak lubang maka bahan bakar yang dihabiskan akan semakin banyak. Jumlah lubang pada *burner* juga sangat berkaitan dengan diameter *burner*, dimana semakin besar diameter burner maka jumlah lubang *burner* semakin banyak. Sketsa burner mesin stirling mCHPSE-012021 terlihat pada Gambar 2.8.





Gambar 2.8. (a) Tampak Depan, (b) Tampak Atas dan (c) Tampak Potongan AD-AD

Diameter *burner* sangat berpengaruh terhadap bahan bakar, karena semakin besar diameter burner maka api maka bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan nyala api yang stabil harus banyak. Karena jika pasokan bahan bakar sedikit, maka api yang di hasilkan akan kecil. Diameter *burner* berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, karena semakin besar diameter *burner* maka bahan bakar yang dihabiskan akan semakin banyak. Akan tetapi akan lebih cepat untuk mendidihkan air. Berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan, *burner* diklasifikasikan menjadi tiga yaitu (Nasution et al., 2022):

- a). *Burner* untuk bahan- bakar cair
- b). *Burner* untuk bakar bakar gas
- c). *Burner* untuk bahan bakar padat

Sedangkan kemampuan burner dalam mentransfer panas pada saat pembakaran. Secara matematis daya *burner* dapat ditentukan dengan persamaan 2.1.

$$I = \frac{m_f \times E}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- I = Daya burner (kW)
- E = *Low heating valve* (kJ/kg)
- m_f = massa konsumsi bahan bakar (kg)
- Δt = Waktu konsumsi bahan bakar (jam)

Sedangkan efisiensi *burner* adalah perbandingan antara panas berguna dengan panas dari bahan bakar yang dipergunakan saat pemakaian dan secara matematis efisiensi *burner* dapat ditentukan dengan persamaan 2.2.

$$\eta_{burner} = \frac{\{(M_w.C_{pw})+(M_b.C_{pb})\} \times (T_{max}-T_{min})+M_u.H}{m_f \times E} \times 100\% \dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- η_{burner} = Efisiensi burner (%)
- M_w = massa air (kg)
- M_b = Massa bejana air (kg)
- C_{pw} = Panas spesifik air (kJ/kg.K)
- C_{pb} = Panas spesifik bejana (kJ/kg.K)
- T_{min} = Temperatur awal (°K)

T_{\max} = Temperatur akhir ($^{\circ}\text{K}$)

M_u = massa uap (kg)

H = panas laten penguapan air (kJ/kg)

Pengujian distribusi temperatur api dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran contour distribusi temperatur isothermal api. Melalui visualisasi contour distribusi temperatur isothermal tersebut akan diperoleh kesimpulan yang lebih kuat tentang pengaruh penggunaan alat ini terhadap peningkatan efisiensi *burner* (Sudarno; Fadelan, 2016).

2.4. Bahan Bakar (Gas LPG)

Secara teori, Elpiji, dari pelafalan singkatan bahasa Inggris; *LPG (liquified petroleum gas*, harafiah: "gas minyak bumi yang dicairkan"), adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}) (Dinaryanto, 2010).

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (thermal expansion) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi

biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana LPG berbentuk cair, dinamakan tekanan uap-nya, juga bervariasi tergantung komposisi dan temperatur; sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi butana murni pada 20 °C (68 °F) agar mencair, dan sekitar 2.2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55 °C (131 °F) (Muhammad Nurul, 2019).

Karena dalam tekanan atmosfer LPG berbentuk gas, untuk dapat memudahkan proses distribusi dan transportasi gas ini dilakukan rekayasa fasanya menjadi ke bentuk cair dengan memberi tekanan. Dalam keadaan cair, LPG mudah didistribusikan dan ditransportasi dalam tabung ataupun dalam tanki. Oh iya kalau kita sering melihat bahwa LPG tetapi tulisannya LPG, maka LPG. Nilai kalor rendah atau *LHV (Low heating value)* bahan bakar LPG yaitu sebesar 11.254,61 kcal/kg atau setara dengan 47.089,228 kJ/kg (Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi 2007)(Hidayah, 2022). Pengujian konsumsi bahan bakar, data yang diperoleh dari pengujian konsumsi bahan bakar digunakan untuk menentukan besarnya efisiensi kompor. Pengujian efisiensi dilakukan dengan cara mengkomparasikan dengan menggunakan *LPG*. Untuk menghitung massa bahan bakar ditentukan dengan persamaan 2.3, dan konsumsi bahan bakar dapat ditentukan dengan persamaan 2.4.

$$m_f = m_1 - m_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

m_f = massa pemakaian bahan bakar (kg)

m_1 = massa bahan bakar sebelum digunakan (kg)

m_2 = massa bahan bakar sesudah digunakan (kg)

$$FC = \frac{m_f}{t} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

FC = *Fuel Comsumption* (kg/h)

m_f = massa pemakaian bahan bakar (kg)

t = Waktu konsumsi bahan bakar (h)

2.5. Kompresor

Kompresor udara merupakan salah satu pesawat bantu yang digunakan untuk mendapatkan udara kerja yang kemudian ditampung di dalam bejana udara yang bertekanan lebih tinggi dari 1 (satu) atm. Fungsi kompresor pada pengujian ini adalah untuk meningkatkan tekanan gas dan mengurangi pemakaian gas. Kompresor adalah perangkat yang mengubah listrik (biasanya dari motor listrik, mesin diesel atau mesin bensin) menjadi energi kinetik dengan mengompresi dan melakukan menekan udara, yang menurut perintah, dapat disemburkan kilat.

Kompresor adalah suatu alat yang berfungsi untuk memampatkan udara atau gas. Sebagaimana halnya dengan pompa, kompresor memiliki cara kerja yang identik dengan pompa. Udara atau gas yang dimampatkan oleh kompresor diambil dari suatu tempat tertentu, dialirkan, dan kemudian dimampatkan dalam suatu tempat penampungan. Pada saat kompresor memampatkan udara atau gas, ia bekerja sebagai penguat (meningkatkan tekanan), dan sebaliknya kompresor juga dapat berfungsi sebagai pompa vakum. Dengan kata lain kompresor dapat

melakukan kerja ganda yaitu sebagai penguat (*booster*) atau sebagai pompa vakum (Syawaluddin, Muhammad, n.d.).

Perbedaan yang mendasar antara kompresor dan pompa yaitu, pompa berfungsi hanya untuk mengalirkan atau membawa fluida (dalam hal ini adalah zat cair yang bersifat inkompresible) dari satu tempat ke tempat lain yang disertai dengan energi. Namun pada kompresor kerja yang dilakukan bukan hanya mengalirkan fluida (dalam hal ini adalah udara yang bersifat kompresible) tetapi juga memampatkan fluida tersebut. Untuk selanjutnya istilah fluida di sini akan diasumsikan sebagai udara.

2.6. Jenis- jenis Nyala Api

Api adalah suatu reaksi kimia (oksidasi) cepat yang terbentuk dari 3 (tiga) unsur yaitu panas, oksigen dan bahan mudah terbakar yang menghasilkan panas dan cahaya. Pada proses pembakaran tentunya akan menghasilkan nyala api yang berbeda tergantung proses pembakaran itu sendiri. Beberapa pembagian jenis nyala api berdasarkan warnanya (Ikhwahyudin et al., 2021).

2.6.1. Api Merah

Api yang berwarna merah menunjukkan jenis api yang suhu panasnya paling rendah jika dibandingkan dengan warna kuning, jingga, dan biru. Suhu untuk api yang berwarna merah ini bisa berada di bawah 1000°C. Namun, tetap saja yang namanya api tetap bisa membakar apapun. Kondisi kompor gas yang mengeluarkan api merah bisa jadi pertanda kadar hidrokarbon di dalam tabung gas tinggi. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa faktor seperti kotoran atau kerak yang terdapat

pada corong api atau burner. Apalagi jika kotoran lama tidak dibersihkan, maka akan timbul kerak. Adapun gambar 2.9, menunjukkan nyala api berwarna merah.



Gambar 2.9. Api Merah

2.6.2. Api Biru

Api biru ialah api yang sering kita jumpai di dapur. Biasanya api sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000°C. Api ini berbahan bakar gas dan mengalami pembakaran sempurna (Ikhwahyudin et al., 2021) . Adapun gambar 2.10, menunjukkan nyala api berwarna biru.



Gambar 2.10. Api Biru

2.6.3. Api Jingga

Api jingga adalah salah satu api yang sering kita temui, terutama ketika kita membakar arang, kayu dan kertas. Api jingga memiliki suhu yakni berkisar 1.000 - 1.200 derajat celcius. Adapun gambar 2.11, menunjukkan nyala api berwarna jingga.



Gambar 2. 11. Api Jingga

2.6.4. Api Putih

Api putih hanya bisa dihasilkan oleh reaksi fusi yang biasanya terjadi pada bintang di luar angkasa. Api putih ini merupakan api paling panas yang ada di bumi. Api ini paling banyak digunakan di pabrik-pabrik yang memproduksi material besi dan sejenisnya. warna putih dari api dikarenakan suhunya melebihi 2000°C (Ikhwahyudin et al., 2021) . Adapun gambar 2.12, menunjukkan nyala api berwarna putih.



Gambar 2. 12. Api Putih

2.7. Suhu (Temperatur)

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem. Suhu di definisikan sebagai suatu besaran fisika yang dimiliki bersama antara dua benda atau lebih yang berada dalam kesetimbangan termal. Satuan Internasional (SI) yang digunakan untuk suhu adalah Kelvin (K). Simbol yang digunakan untuk melambangkan suhu atau temperatur adalah T. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu disebut dengan termometer. Satuan ukur dari Suhu yang banyak digunakan di Indonesia adalah (Derajat Celcius).

2.7.1. Celcius

Suhu adalah derajat panas atau dingin yang diukur berdasarkan skala tertentu dengan menggunakan termometer. Satuan suhu yang biasa digunakan adalah derajat celcius ($^{\circ}C$). Suatu skala suhu yang didesain supaya titik beku air berada pada 0 derajat dan titik didih pada 100 derajat di tekanan atmosferik standar. Skala ini diperkenalkan oleh Anders Celcius pada tahun 1742.

2.7.2. Fahrenheit

Skala Fahrenheit adalah skala suhu yang didesain dengan titik beku air adalah $32^{\circ}F$ dan titik didih air adalah $212^{\circ}F$, dengan demikian perbedaan titik lebur dan titik didih pada skala ini adalah 180 derajat. Skala ini diperkenalkan oleh ilmuwan Jerman yang bernama Gabriel Fahrenheit pada tahun 1724. Satuan untuk derajat Fahrenheit adalah ($^{\circ}F$).

2.7.3. Reamur

Reamur menggunakan satuan derajat ($^{\circ}R$). Reamur adalah skala pengukuran suhu yang dijelaskan oleh Antoine Ferchault de Reamur tahun 1730. Termometer

skala reamur menunjukkan suhu 0 derajat pada air membeku dan air mendidih 80 derajat Reamur.

2.7.4. Kelvin

Kelvin adalah atuan pokok untuk besaran suhu termodinamika dalam Sistem Satuan Internasional (SI). Skala Kelvin tidak menggunakan derajat yakni karena skala kelvin adalah skala mutlak/absolut, yang berarti skala Kelvin menggunakan nol mutlak (kondisi ketiadaan energi termal di dalam suatu sistem) sebagai titik nolnya (0 K). Karena hal ini, Kelvin dapat merepresentasikan jumlah energi termal yang ada pada suatu sistem. Melipatgandakan besar suhu kelvin sama dengan melipatgandakan jumlah energi termal dalam sistem itu. Hal tersebut berbeda pada Celsius dan Fahrenheit yang tidak dapat mengikuti kaidah tersebut.

2.7.5. Kalor

Kalor adalah energi yang ditransfer dari suatu benda ke benda yang lain karena beda temperatur. Kalor ini merupakan energi yang memiliki karakteristik bisa berpindah dari suatu benda yang memiliki suhu tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah ketika dua benda itu saling bersinggungan. Misalnya adalah ketika merebus air, dimana air dingin yang dipanaskan kemudian lama kelamaan akan berubah menjadi panas. Besaran kalor yang terkandung di dalam suatu benda atau zat dapat ditentukan dari tiga faktor, yaitu massa zat, kalor jenis, serta perubahan suhu. Satuan resmi dari kalor adalah Joule (J).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

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

Tabel 3. 1. Jadwal kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	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	Persiapan Sidang															█	█
8	Sidang Sarjana																█

3.2. Bahan dan Alat

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

3.2.1. Bahan

Adapun bahan yang dipergunakan dalam proses penelitian ini sebagai berikut.

1. Gas LPG 3 Kg

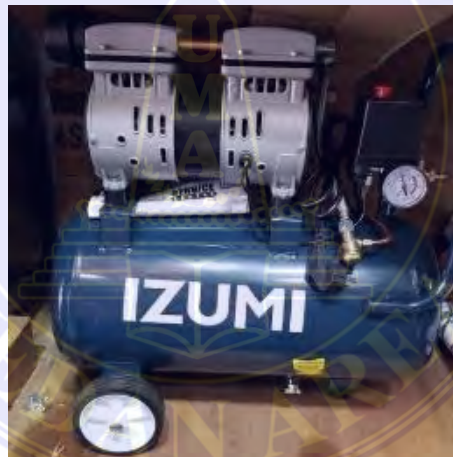
Gas LPG 3 kg berfungsi sebagai bahan bakar pemanas *heat exchanger* pada mesin stirling dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tabung Gas LPG

2. *Air Compressor Izumi 1 HP*

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 Compresor Izumi

3. Air

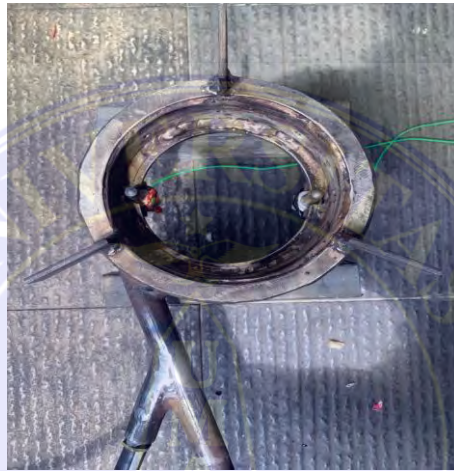
Air adalah zat yang paling penting dalam kehidupan setelah udara. Sekitar tiga per empat bagian dari tubuh kita terdiri dari air dan tidak seorangpun dapat bertahan hidup lebih dari 4–5 hari tanpa minum air. Selain itu, air jugadipergunakan untuk memasak, mencuci, mandi, dan membersihkan kotoran yang ada di sekitar rumah. Air juga digunakan untuk keperluan industri, pertanian, pemadam kebakaran, tempat rekreasi, transportasi, dan lain-lain.

3.2.2. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Burner*

Burner berfungsi untuk mempertemukan gas dan udara sehingga menghasilkan nyala api. Fungsi utama *burner* pada mesin *stirling* adalah sebagai pemanas heater. Objek yang dilakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. *Burner*

2. Timbangan Digital LESIN DO LS-24

Timbangan Digital berfungsi mengukur konsumsi massa awal dan akhir pada tabung gas 3 kg, dengan daya tampung sebesar 1kg hingga 40 Kg dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Timbangan Digital

3. *Rotameter Flow meter udara control*

Flow meter berfungsi mengetahui laju aliran udara dan laju aliran gas, , dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. *Flow meter*

4. *Regulator dan Selang SNI*

Regulator berfungsi untuk memastikan gas bisa keluar dengan aman dari tabung dan mengalirkan gas ke selang hingga ke stik pipa. Fungsi dari selang untuk mengalirkan gas dari tabung ke *burner* dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. *Regulator dan Selang SNI*

5. Pipa stik kompor

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



Gambar 3.7. Pipa stik

6. *Stopwatch*

Stopwatch berfungsi untuk mengukur waktu saat pengujian dengan durasi 1 jam dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Stopwatch*

7. *Thermometer controller* UNI-T UT320D

Thermometer controller UT320D adalah alat yang digunakan untuk menunjukkan dua suhu yang berbeda secara bersamaan, adapun temperatur yang

diukur dengan alat ini adalah suhu burner dan suhu air, yang dihubungkan dengan sensor *thermocouple*, dengan daya pengukuran suhu -50°C hingga 1300°C , dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. *Thermometer controller* UT320D

8. Kabel *thermocouple sensor*

Kabel *thermocouple sensor* berfungsi kabel suhu temperatur penghubung antara *thermowell* ke *thermometer*. Dua jenis logam konduktor yang berbeda jenis digabung pada ujungnya. Satu jenis logam konduktor pada *thermocouple* akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. kelebihan *thermocouple* yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, *thermocouple* juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. kabel *Thermocouple sensor*

9. *Thermowell NPT Stainless*

Thermowell NPT Stainless berfungsi untuk melindungi kabel thermocouple sensor dari kerusakan akibat pemakaian, perangkat yang digunakan untuk melindungi sensor suhu seperti RTD, *thermocouple*, *thermometer* dari kerusakan akibat korosi dan benturan aliran proses. Tipe *Thermowell* yang dipakai pada penelitian ini adalah *thermowell* tipe drat ini memiliki dua model drat yaitu drat model lurus (BSP) dan drat model tirus (NPT), untuk mencegah kebocoran pada drat model lurus, seal berupa gasket teflon harus digunakan sedangkan untuk drat model tirus seal tape silikon yang harus digunakan dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. *Thermowell NPT Stainless*

3.3. Metode Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di ruangan terbuka, dengan mengamati perubahan temperatur pada sumber api dan temperatur air, yang ditunjukkan oleh *thermometer controller*. Mengamati kestabilan temperatur sumber api dan objek yang dipanaskan yaitu air yang ada didalam bejana. 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* (T2) diletakkan pada sisi dalam bejana yang berisi air(Th).
2. Persiapkan gas LPG 3 kg sebagai bahan bakar pemanasan bejana 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 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 selama 60 menit, dengan rentan waktu 1 menit sekali menggunakan *stopwatch*.
5. Pengambilan data pengujian temperatur api (Th) dan temperatur air (Th) dilakukan secara bersamaan. Pembacaan dilakukan dimulai dari sumber panas dihidupkan.

6. Melakukan pencatatan beberapa parameter, yaitu suhu panas pada *burner* dan suhu panas pada air dan konsumsi bahan bakar.

Tabel 3.2. Variabel Peubah Yang Diamati Pada Penelitian

No	Variabel	Deskriptor	Instrumen
1.	Temperature	°C	<i>Temperature controller</i>
2.	Temperature	°C	<i>Temperature controller</i>
3.	Waktu	Menit	<i>Stopwatch</i>



3.4. Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja dalam penelitian ini ialah skema pengujian burner mesin stirling dan diagram alir proses penelitian ini.

3.4.1. Skema Pengujian Burner

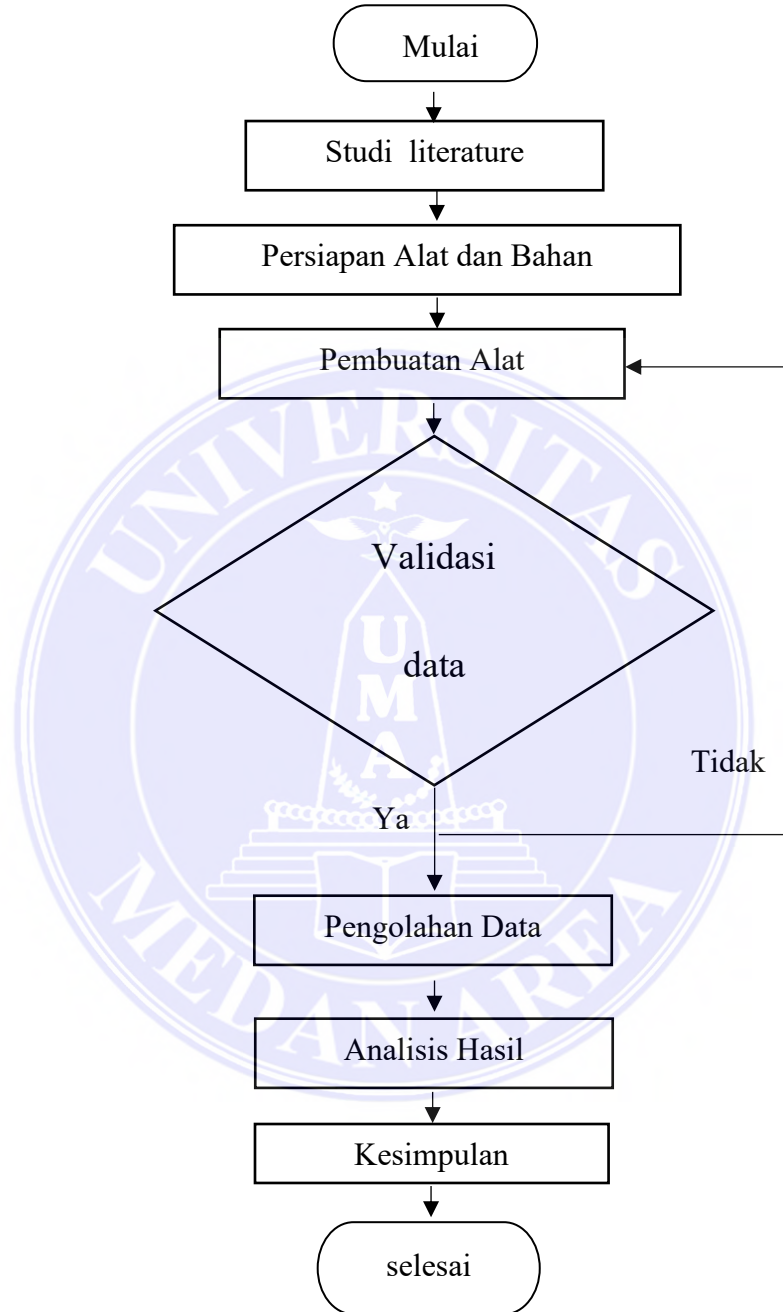
Gambar 3.12, merupakan skema pengujian burner mesin stirling.



Gambar 3.12. Skema pengujian

3.4.2. Diagram Alir Penelitian

Untuk gambar diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13. Diagram alir penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas maka disimpulkan sebagai berikut.

1. Nilai temperatur nyala api *burner* mesin *stirling* yaitu sebagai berikut, nilai temperatur rata-rata nyala api sebesar 581,02 °C, nilai min temperatur nyala api sebesar 31,9°C, nilai max temperatur nyala api sebesar 692,3 °C. .
Dibandingkan dengan *burner* kompor masak SNI sebagai dasar perbandingan yaitu, nilai rata-rata temperatur nyala api sebesar 714,78 °C, nilai min temperatur nyala api sebesar 30,5°C, nilai max temperatur nyala api sebesar 769,3 °C.
2. Nilai konsumsi bahan bakar *burner* mesin *stirling* terlalu boros yaitu sebesar 0,332 kg . Dibanding dengan konsumsi bahan bakar kompor SNI sebesar 0,170 kg.
3. Nilai daya *burner* sebesar 4,34 kW. Sedangkan nilai daya burner kompor SNI yaitu 2,224 kW
4. Nilai efisiensi thermal *burner* sebesar 19,7 % tidak tercapai, sedangkan nilai efisiensi thermal kompor SNI sebesar 52,9 % maka nilai efisiensi thermal kompor SNI 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 ukuran lubang burner.
3. Menggunakan desain yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, P. U. (2019). *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Stirling Engine Generator Magnet Permanen*. 2017, 1–22.
- Aprizal. (2016). UJI PRESTASI MOTOR BAKAR BENSIN MEREK HONDA ASTREA 100 CC Oleh : Aprizal Prodi SI Teknik Mesin . Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian Page 7. *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian*, 9(1), 6–14.
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412. <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>
- Dinaryanto, O. (2010). Pengaruh jenis burner terhadap konsumsi bahan bakar lpg. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 2(1), 77–84. http://stta.ac.id/data_lp3m/Okto.pdf
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i3.82>
- Ikhwahyudin, A., Ridhuan, K., & Nugroho, E. (2021). Pengaruh cyclone dan peletakannya terhadap karakteristik gasifikasi dengan menggunakan filter zeolit alam. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2(1), 33–40. <https://doi.org/10.24127/armatur.v2i1.741>
- Insan, M. N. A. B. (2020). Perancangan Prototype Mesin Stirling Sederhana Sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Berbahan Bakar Gas Alam. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201*, 2(1), 41–49.
- Jufrizal, Napitupulu, 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). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012016>
- Kristanto, D. A. (2012). Efisiensi Kinerja Siklus Mesin Stirling. *Efisiensi Kinerja Siklus Mesin Stirling*, 3–6.
- Kristiani, I., Kristiyanto, W. H., & Rondonuwu, F. S. (2020). Model Mesin Stirling 3D Printing sebagai Media Belajar Fisika Materi Termodinamika. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 3(1), 24–31. <https://doi.org/10.24246/juses.v3i1p24-31>
- Lhokseumawe, P. N., Pengantar, K., Alwie, rahayu deny danar dan alvi furwanti, Prasetio, A. B., & Andespa, R. (2020). Tugas Akhir Tugas Akhir. In *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret201* (Vol. 2, Issue 1).
- Muhammad Nurul, A. B. I. (2019). *PERANCANGAN PROTOTYPE MESIN STRIRLING SEDERHANA SEBAGAI ALTERNATIF PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK BERBAHAN BAKAR GAS ALAM*.

- Nasution, A. Y., Hiro, F., Tarigan, L., Mesin, D. T., Teknik, F., Utara, U. S., Biomassa, L., & Biomassa, K. (2022). *Jurnal Dinamis TEMPURUNG KELAPA MENGGUNAKAN ANSYS*. 10(1), 22–29.
- Nazila, I. P. (2016). *UNJUK KERJA MESIN STIRLING TIPE GAMMA DAN SISTEM ALIRAN AIR PADA RESERVOIR RENDAH SKRIPSI Oleh : INTAN PUTRI NAZILA*.
- Ninla Elmawati Falabiba, Anggaran, W., Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, A., Wiyono, B. ., Ninla Elmawati Falabiba, Zhang, Y. J., Li, Y., & Chen, X. (2014). Energi, Manajemen Energi, Audit Energi dan Performma Energi pada Bangunan. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 5(2), 40–51.
- Purwandari, R. (2012). *Mesin Stirling*. 1.
<http://22bunglonspeed.blogspot.com/2012/04/mesin-stirling.html>
- Putro, B. (2020). Analisis Karakteristik Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine dengan Bahan Bakar Metanol. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.
- Rahmat. (2019). Pengembangan Mesin Stirling Tipe Gamma Sebagai Tenaga Penggerak Kipas Angin. *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 9(1), 28–36. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v9i1.887>
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Sudarno; Fadelan. (2016). The Improvement of The Efficiency of LPG Stoves Using Flames Elements. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 19(2), 397–408.
<https://docplayer.info/48442125-Peningkatan-efisiensi-kompor-lpg-dengan-menggunakan-elemen-bara-api.html>
- Syawaluddin, Muhammad, Y. (n.d.). *PERENCANAAN KOMPRESOR PISTON PADA TEKANAN KERJA MAX 2 N/mm 2*. 18–29.
- Zakaria, R., Priadythama, I., & Budiyanto, N. E. (2013). Rancangan mesin stirling memanfaatkan komponen mesin lain yang ada di pasaran Indonesia sebagai pembangkit listrik. *Performa*, 12(1), 51–56.