

**PENGUJIAN KEMAMPUAN DARI KOMPONEN BAGIAN
PISTON MESIN STIRLING mCHPSE-012021**

SKRIPSI

OLEH:

SISKA INDRAWANTO

198130002



PROGAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS

MEDAN AREA

MEDAN

2023

HALAMAN JUDUL

**PENGUJIAN KEMAMPUAN DARI KOMPONEN BAGIAN
PISTON MESIN *STIRLING* mCHPSE-012021**

SKRIPSI

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

Oleh :

SISKA INDRAWANTO

198130002

PROGAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR SKRIPSI

Judul :Pengujian Kemampuan dari Komponen bagian piston
Mesin Stirling mCHPSE-012021

Nama Mahasiswa : Siska Indrawanto

NIM : 198130002

Fakultas : Teknik.

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di
ProgramStudi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.**

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing

Pembimbing I

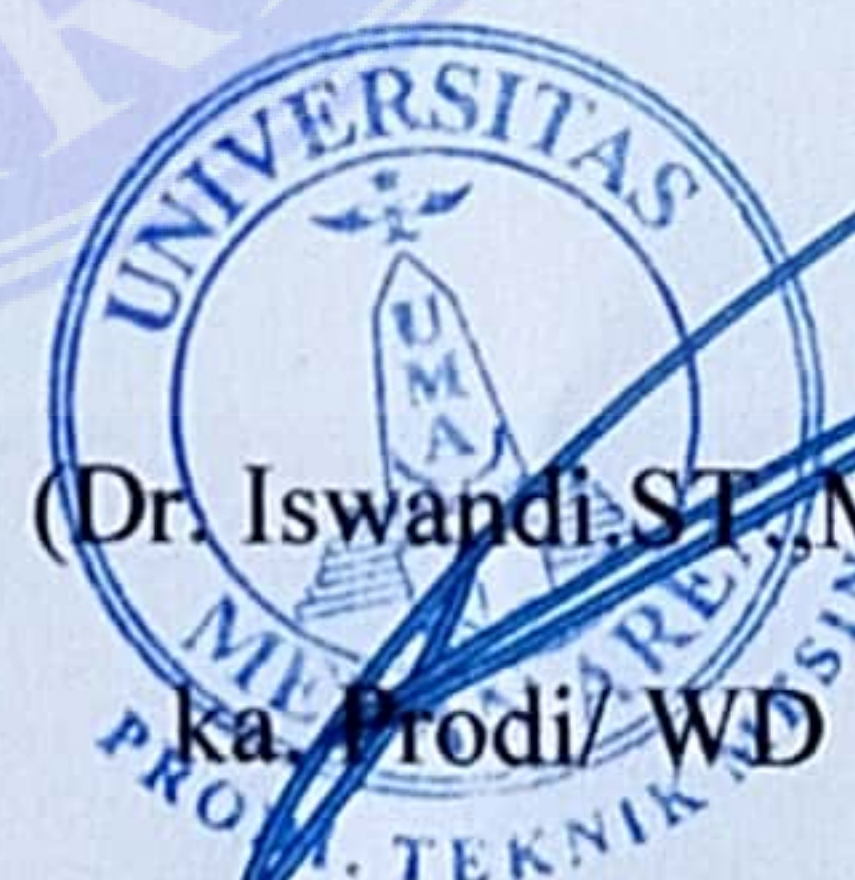


(Jufrizal, ST, MT.)

NIDN. 0119028202



(Dr. Eng. Supriatno, ST., MT.)
Dekan



(Dr. Iswandi, ST., MT.)
ka. Prodi/ WD 1

Tanggal Lulus :

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 di tulis sebenarnya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

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



Siska Indrawanto - Pengujian Kemampuan Dari Komponen Bagian Piston ...

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 : Siska Indrawanto

NPM : 198130002

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 Kemampuan dari Komponen bagian piston Mesin Stirling mCHPSE-012021”

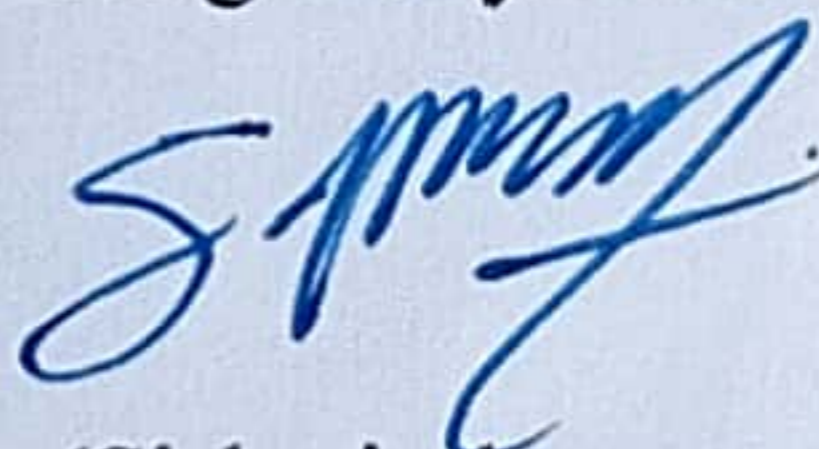
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :

Pada Tanggal : Desember 2023

Yang menyatakan



(Siska indrawanto)

198130002

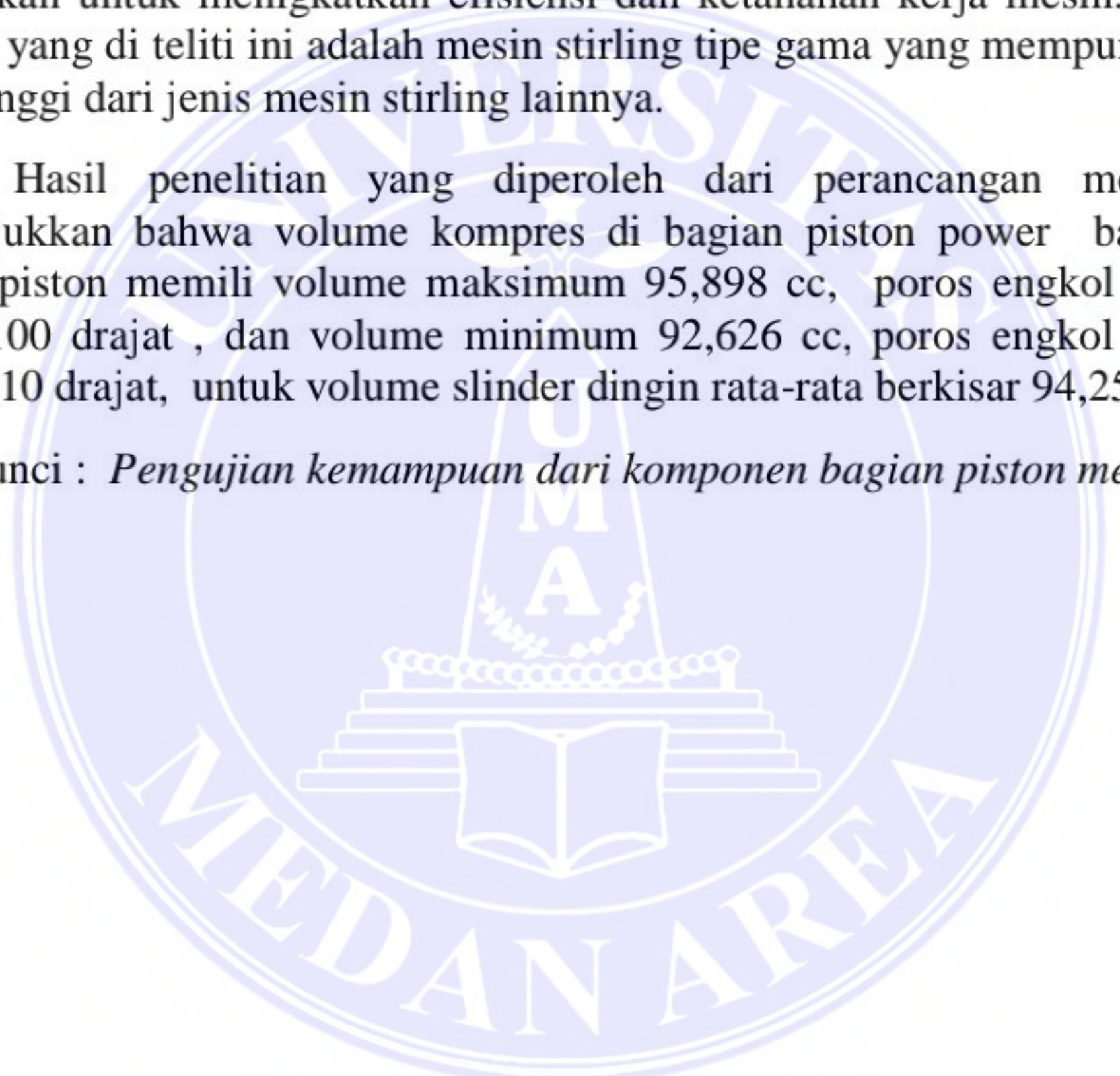
ABSTRAK

Penelitian pengembangan mesin stirling saat ini sedang berkembang diakibatkan oleh karakteristik mesin stirling yang dapat menggunakan banyak jenis bahan bakar, maka judul penelitian ini adalah Pengujian Kemampuan dari komponen piston Mesin Stirling mCHPSE-2021

Perancangan sistem pendingin pada mesin stirling sangat mutlak diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan ketahanan kerja mesin. Jenis mesin stirling yang di teliti ini adalah mesin stirling tipe gama yang mempunyai efisiensi lebih tinggi dari jenis mesin stirling lainnya.

Hasil penelitian yang diperoleh dari perancangan mesin stirling menunjukkan bahwa volume kompres di bagian piston power bagian silinder power piston memiliki volume maksimum 95,898 cc, poros engkol berada pada sudut 100 drajat , dan volume minimum 92,626 cc, poros engkol berada pada sudut 210 drajat, untuk volume silinder dingin rata-rata berkisar 94,250 cc

Kata kunci : *Pengujian kemampuan dari komponen bagian piston mesin stirling.*



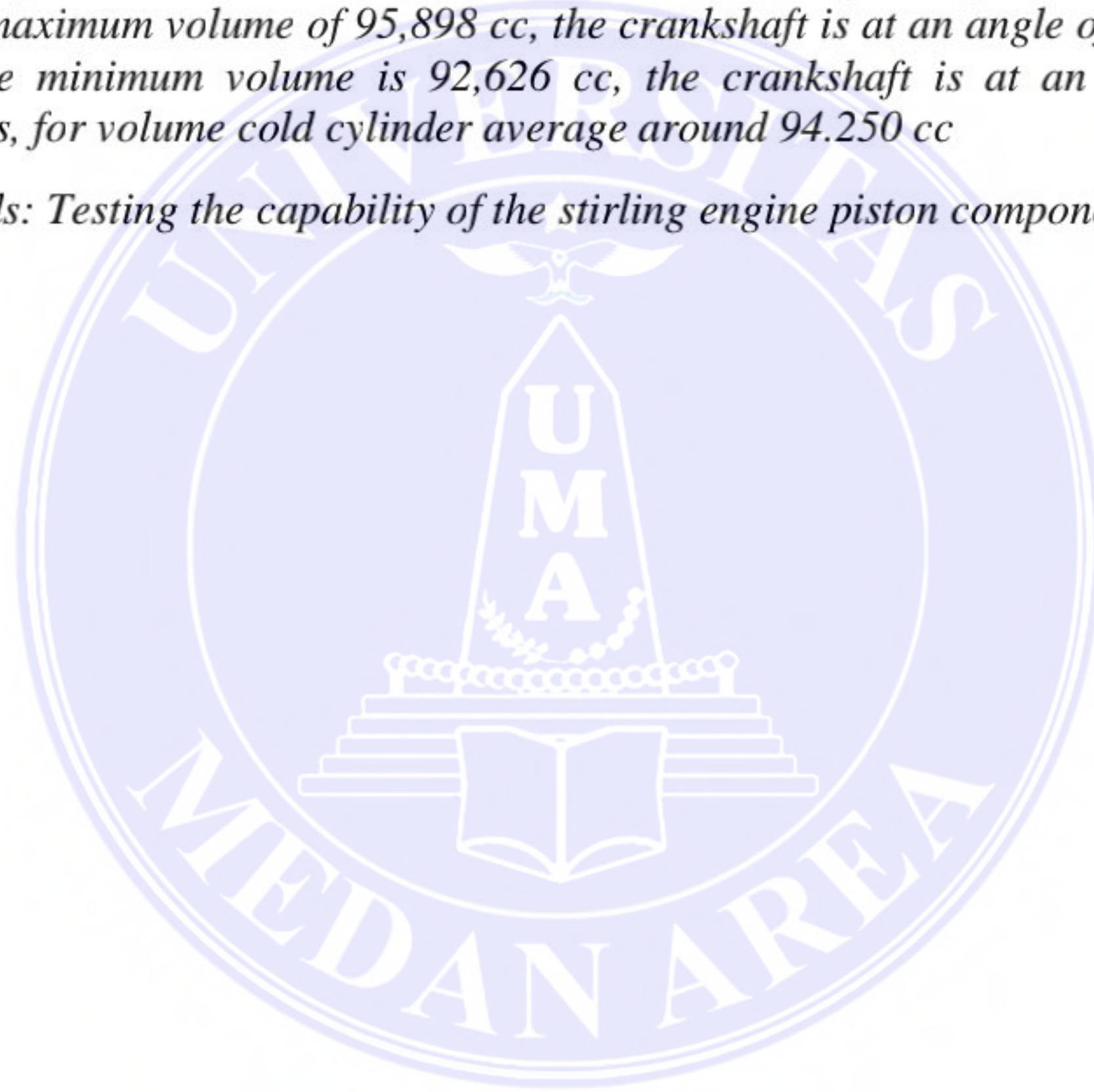
ABSTRAK

Research on the development of the stirling engine is currently being developed due to the characteristics of the stirling engine which can use many types of fuel.so the title of this research is capability testing of the stirling enggnine piston components mCHPSE-2021

The design of the cooling system in the stirling engine is absolutely necessary to increase the efficiency and endurance of the engine. The type of stirling engine that is being studied is the gamma type stirling engine which has a higher efficiency than other types of stirling engines.

The research results obtained from the Stirling engine design show that the compressed volume in the piston power section of the cylinder power piston has a maximum volume of 95,898 cc, the crankshaft is at an angle of 100 degrees, and the minimum volume is 92,626 cc, the crankshaft is at an angle of 210 degrees, for volume cold cylinder average around 94.250 cc

eywords: Testing the capability of the stirling engine piston components.

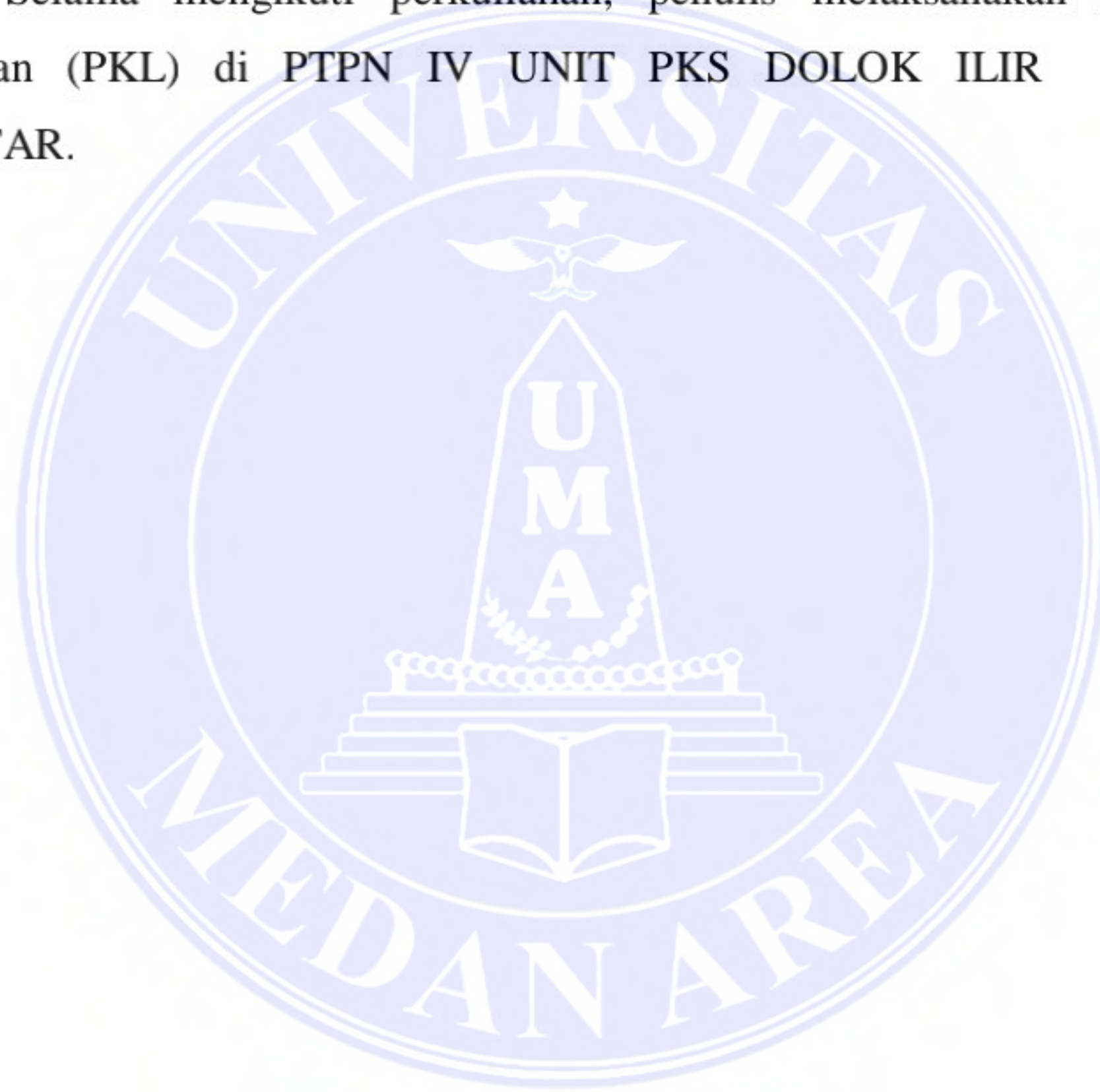


RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pangkalan Berandan Pada tanggal 03 november 2000 dari ayah Supriadi dan ibu Sutiem Penulis merupakan Anak ketiga dari 3 bersaudara.

Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK Swasta Al-whasliyah -7 sebelawan dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PTPN IV UNIT PKS DOLOK ILIR PEMATANG SIANTAR.



KATA PENGANTAR

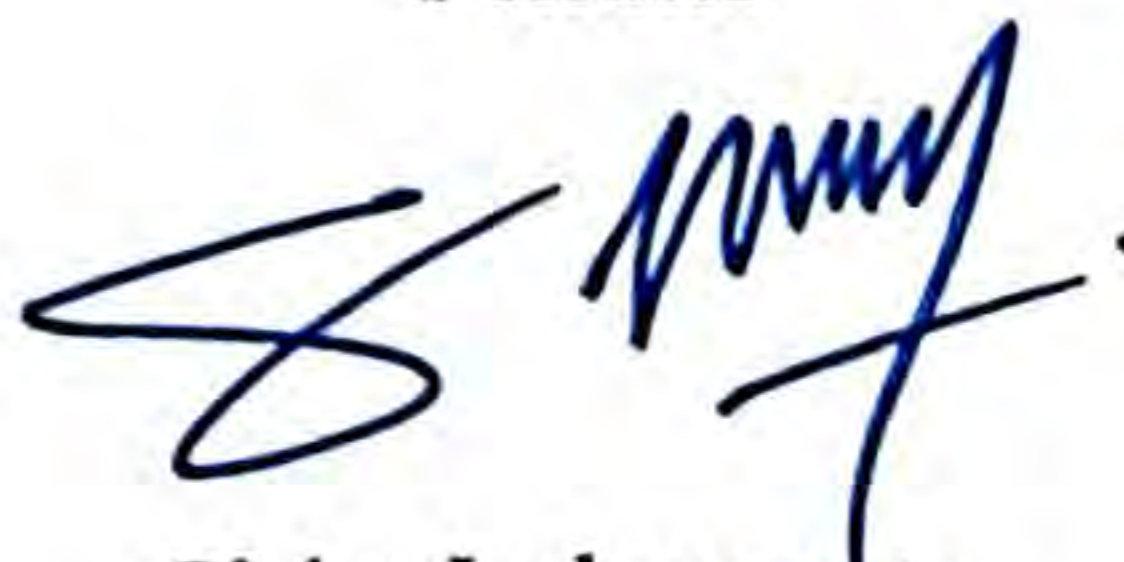
Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala karunia Yang telah diberikan sehingga penulisan skripsi ini bisa diselesaikan. Tema yang dalam penelitian ini adalah motor bakar dengan judul “Pengujian Kemampuan dari Komponen bagian piston Mesin *Stirling* mCHPSE-012021”.

Dalam penyelesaian skripsi ini banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada: Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area, Dr. Rahmad Syah, S. Kom, M. Kom., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area, Muhammad Iddris, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area, Dr. Iswandi, ST, MT., Selaku Sekertaris Prodi Teknik Mesin dan Jufrizal, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing. Ungkapan terima kasi juga kepada ayah,ibu dan seluruh keluarga atas segala doa

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Medan, 2023

Penulis



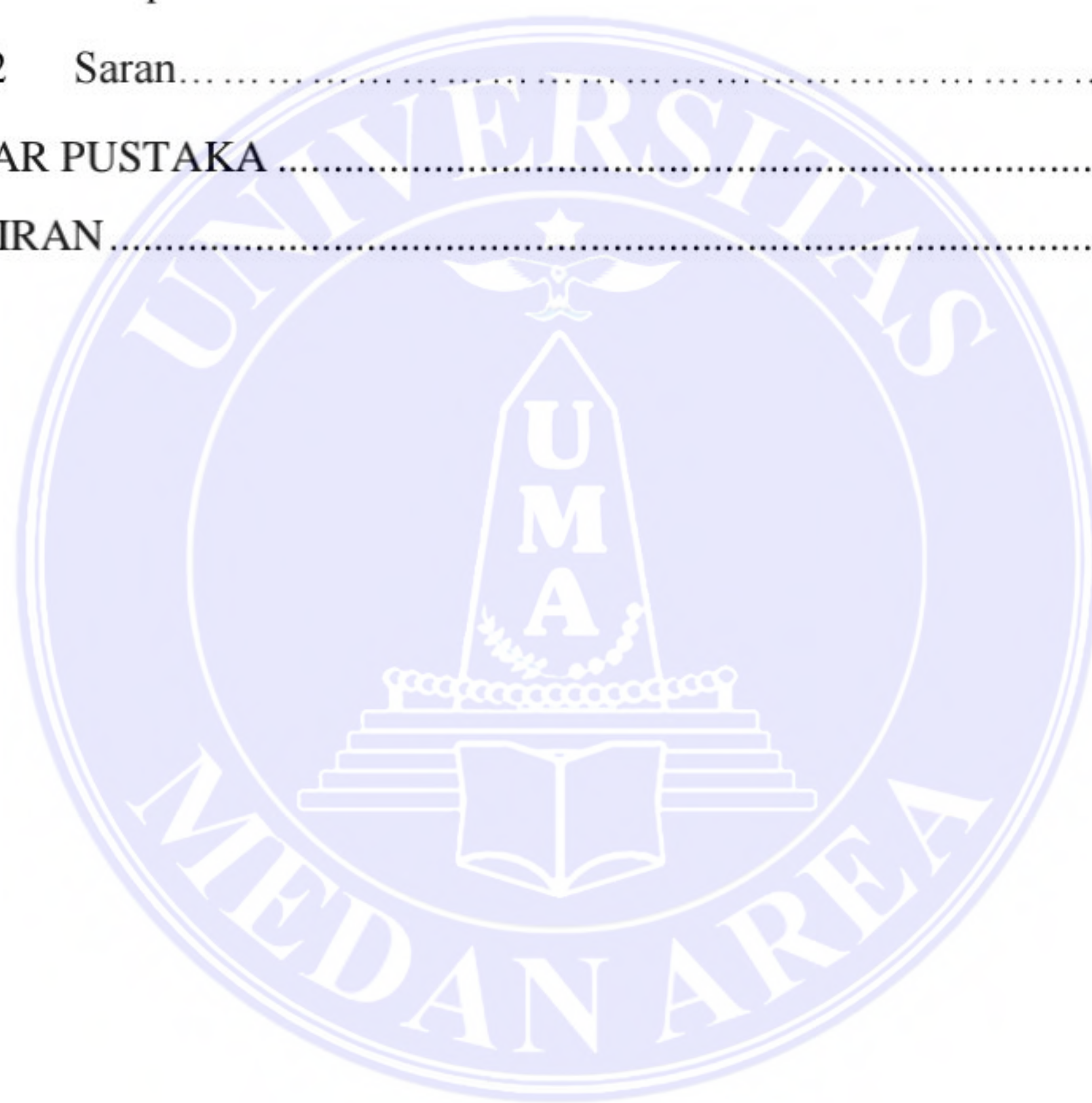
Siska Indrawanto

NIM 198130002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SEMINAR SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSRAK.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Tujuan Penelitian.....	10
1.4 Hipotesis Penelitian.....	11
1.5 Manfaat Penelitian.....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Dasar Teori	6
2.2. Rumus – Rumus Yang Digunakan	17
2.2.1. Volume sebagai fungsi poros engkol	17
2.2.2. Tekanan.....	18
2.2.3. Temperatur sisi dingin.....	19
2.2.4. Massa fluida	19
2.2.5. Kerja Siklus.....	19
2.2.6. Daya Yang Dihasilkan	19
2.2.7. Efisiensi stirling.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	14

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2	Bahan dan Alat Penelitian.....	14
3.3	Populasi dan Sampel.....	25
3.4	Prosedur Kerja	27
BAB IV	23
4.1	Hasil.....	23
4.2	Pembahasan.....	27
BAB V	45
5.1	Simpulan.....	40
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.2. Model kontruksi alat penelitian.....	22
Gambar 3.3. Model kontruksi piston.....	23
Gambar 3.4. stopwatch.....	24
Gambar 3.5. Thermocouple Sensor.....	24
Gambar 3.6. Mlilimeter Blok.....	25
Gambar 3.7. Termometer	25
Gambar 3.8. Asambling piston power.....	26
Gambar 3.9. Pengukuran dengan thermocoupel	26
Gambar 4.1 Asambling slinder dan piston power.....	23
Gambar 4.2 Tampak atas slinder power piston.....	23
Gambar 4.4 Slinder power piston.....	33
Gambar 4,5 power piston	34
Gambar 4.6 heater	34
Gambar 4.7 Connecting Rod.....	35
Gambar 4.8 Flyhwel.....	35
Gambar 4.9 konfigurasi mesin stirling bagian piston pendingin	36
Gambar 4.10 Sistem ideal tekanan kompres	39
Gambar 4.11 Temperatur piston power	42
Gambar 4.13 Temperatur power piston dan burner	43
Gambar 4.12 Temperatur burner.....	43
Gambar 4.14 Gerafik volume kompres di setiap sudut engkol.....	44

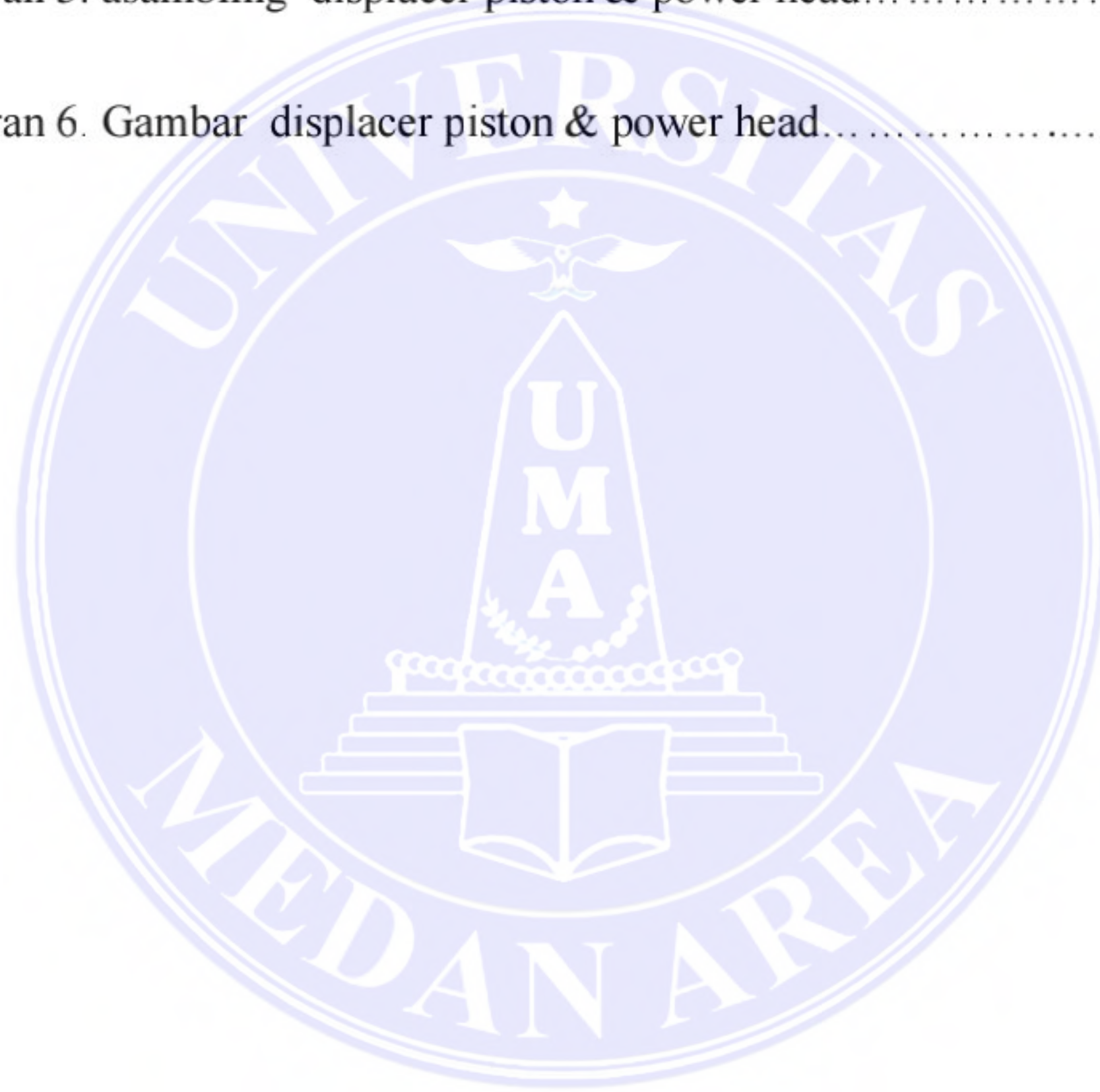
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Pengujian Putaran (RPM) mesin Stirling.....	10
Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian	14
Tabel 3. 2. Variable Perubahan Yang Diamati Pada Penelitian.....	27



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil perhitungan microsof excel Volume kompres di setiap sudut.	41
Lampiran 2 Tabel A-1 critical-point properties	51
Lampiran 3. Tabel sifat termo fisikal tekanan gas di atmosfer.....	52
Lampiran 4 Gambar pengambilan data T1 dan T2	52
Lampiran 5. asambling displacer piston & power head.....	47
Lampiran 6. Gambar displacer piston & power head.....	48



DAFTAR NOTASI

ΔT	= Perbedaan temperature (C)
T sisi panas	= Temperature sisi panas (C)
T sisi dingin	= Temperature sisi dingin (C)
V_c	= Volume kompres (Pa)
D_{Dis}	= Diameter silinder pemindah (m)
D_p	= Diameter silinder power (m)
Z	= Jarak antara silinder panas dan dingin (m)
V_{SD}	= Volume Stuan Piston Pemindah (m ³)
V_{DC}	= Volume Mati Compres (m ³)
Θ	= Sudut poros engkol (°)
T	= Momen gaya (N.m)
F	= Gaya yang bekerja (N)
I	= Momem nersia (kg m/s)
M	= Massa flywheel (kg)
r	= Radius (m)
n	= Putaran (rpm)
π	= phi yang nilainya 3,14

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin stirling merupakan mesin pembakaran luar yang menggunakan energi termal (panas) yang berasal dari sumber panas kemudian di transfer ke heater. Mesin stirling berdasarkan bentuk susunan silinder terdiri dari tiga tipe yaitu Alfa, Beta dan Gamma . Prototipe mesin stirling dengan desain tipe gamma telah didesain dan dibuat oleh tim mCHPSE (micro combine heat power stirling engine) yang merupakan hasil kerjasama mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Medan dan Universitas Sumatera Utara. Mesin mCHPSE berawal dari tahun 2018 yang diberi nama mCHPSE-012018, Diikuti dengan generasi berikutnya pada tahun 2019 dengan nama mCHPSE-012019, di teruskan dengan generasi selanjutnya 2020 diberi nama mCHPSE-012020, Dan mesin terakhir yang telah dikembangkan sampai saat ini adalah desain pada tahun 2021 dengan nama mCHPSE-012021. (Jurnal, Mesin, & Hidayah, 2022)

Piston yang ada pada mesin stirling merupakan tempat terjadi tekanan uap pembakaran pada kompor yang menggunakan sumber bahan bakar gas LPG. Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara material yang dapat terbakar dengan oksigen pada volume dan temperatur tertentu. Pembakaran akan terjadi bila ada tiga sumber yaitu bahan bakar, udara dan sumber panas. Konsumsi bahan bakar (mf) berbanding lurus terhadap daya burner, dimana semakin boros bahan bakar maka semakin besar daya burner yang dikeluarkan dan secara matematis bisa dituliskan seperti persamaan Konsumsi bahan bakar adalah laju penggunaan

massa bahan bakar gas LPG yang dipakai oleh burner selama pengujian. Sedangkan daya burner adalah kemampuan suatu burner pada saat pembakaran dalam mentransfer panas. (Jurnal, Mesin, & Hidayah, 2022)

Hot Air Stirling Engine merupakan salah satu media konversi energi *alternative* perkembangan motor bakar menuju kearah motor bakar yang ramah lingkungan yang menekankan pada pemakaian biaya yang lebih rendah (Effect et al., 2023)

Mesin Stirling ditemukan pada tahun 1816 oleh Robert Stirling. sebelum mesin pembakaran *internal* (yaitu gas dan mesin diesel) itu digunakan secara luas untuk aplikasi industri maupun rumah. Mesin beroperasi pada siklus termodinamika tertutup, yang dapat dibalik. Saat ini sistem berbasis siklus Stirling digunakan secara komersial sebagai pompa panas, pendinginan *kriogenik*, dan pencairan udara. Sebagai penggerak utama. (Thombare & Verma, 2008)

Energi fosil merupakan salah satu sumber energi terbesar yang digunakan oleh manusia, semakin banyaknya jumlah populasi manusia maka konsumsi energi yang dibutuhkan akan semakin besar juga. Dengan demikian untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yaitu dengan mengembangkan teknologi dengan efisiensi bahan bakar yang maksimal dan juga dengan memanfaatkan sebagian sumber energi utama. Dalam proses perubahan energi panas menjadi energi kinetik, mesin stirling memiliki efisiensi tertinggi dalam mesin kalor. Dalam klasifikasinya mesin stirling termasuk ke jenis mesin pembakaran luar (*external Combustion Engine*). Pada mesin stirling, burner berguna untuk memanaskan bagian heater. Dalam prosesnya, burner merupakan

tempat tercampurnya udara dengan bahan bakar gas LPG sehinggamenghasilkan pembakaran yang baik dan dapat meningkatkan efisiensi. Pada burner juga terjadi proses pembakaran awal. Konsumsi bahan bakar (mf) merupakan laju penggunaan bahan bakar gas yang dipakai selama proses pengujian. (Jurnal & Mesin, 2022)

Berdasarkan dari hasil pengujian burner LPG untuk mesin Stirling diperoleh temperatur sumber panas dari nyala api akibat pembakaran LPG 3 kg menunjukkan bahwa penurunan tekanan didalam tangki LPG berpengaruh kepada temperatur nyala api pada burner. Sedangkan laju aliran massa LPG juga menunjukkan terjadi kenaikan dan penurunan mengikuti kenaikan temperatur nyala api. Semakin tinggi kenaikan temperatur maka konsumsi bahan bakar LPG juga akan semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya. (Jurnal, Mesin, & Ramadhan, 2022)

Meningkatkan efisiensi energi dalam sistem termal sangat penting untuk menghemat energi dan mengurangi masalah lingkungan. Banyak upaya yang telah dilakukan para peneliti untuk meningkatkan efisiensi termal, seperti teknologi *nanorefrigerant* sebagai pengganti fluida kerja pada sistem refrigerasi, perbaikan karakteristik dan sifat bahan pengubah fasa dalam penyimpanan energi panas, modifikasi sistem Rankine. ke siklus Rankine organik, dan gabungan panas dan tenaga (CHP)di kompor atau tungku. Artikel ini akan membahas penerapan sistem hasil tekanan CHP pada skala rumah. CHP, atau kogenerasi, adalah sistem yang bekerja sama untuk menghasilkan panas dan menghasilkan tenaga dengan menggunakan satu bahan bakar. CHP telah terbukti bermanfaat untuk keperluan perumahan dan industri karena panas keseluruhannya yang tinggi. efisiensi dibandingkan dengan produksi panas dan sumber tenaga secara terpisah.

Teknologi CHP bisa diterapkan pada proses pembakaran dalam, pembakaran luar, dan pada pembakaran sesuai skala penggunaan. Teknologi CHP biasanya dikembangkan sesuai dengan jenis bahan bakar yang digunakan. Teknologi CHP skala mikro (mCHP) pada kasus pembakaran luar biasanya menggunakan mesin Stirling sebagai penggerak utamanya. Dalam banyak literatur, karakteristik utama mesin Stirling memenuhi persyaratan untuk aplikasi mCHP karena masa pakai yang lama, interval servis yang lama, efisiensi tinggi, kebisingan dan getaran yang rendah, serta emisi yang rendah. Mesin Stirling dengan berbagai konfigurasi untuk aplikasi spesifik belum ada dijual secara komersial, seperti mesin bensin dan diesel. Oleh karena itu, peneliti perlu merancang dan memproduksinya sebelum pengujian. Mesin Stirling memiliki karakteristik unik dalam desain dan performanya. Efisiensi dan kinerja mesin dipengaruhi oleh sumber panas eksternal, konfigurasi mesin, pemilihan material, perbedaan suhu, karakteristik panas, mode operasi, tekanan pengisian, fitur fisik, geometris, dan jenis gas kerja yang digunakan. Pemilihan gas kerja berdampak signifikan terhadap efisiensi dan kinerja mesin Stirling tipe gamma. Gas yang bekerja ini harus mampu mengembang dan memampatkan saat bergerak melalui siklus termal. Karakteristik termal dan fisik gas aktif, seperti kapasitas panas, viskositas, dan konduktivitas termal, akan mempengaruhi efisiensi termal dan kemampuan mesin untuk mengubah panas menjadi kerja mekanis. Mesin Stirling biasanya menggunakan udara atau gas, seperti helium, hidrogen, nitrogen, dan metanol, sebagai fluida kerjanya. Pengembangan dan optimalisasi prototipe mesin Stirling dengan konfigurasi gamma untuk berbagai aplikasi di berbagai bidang, seperti pembangkit listrik, pendinginan, dan pemanasan, telah diselidiki oleh para

peneliti. Perkembangan mesin Stirling tipe Gamma juga telah banyak diteliti untuk memanfaatkan panas dari berbagai sumber panas eksternal. Sumber panas eksternal yang biasa digunakan untuk mengoperasikan mesin Stirling skala kecil seperti energi surya, liquefied petroleum gas (LPG), dan biomassa. Telah dilakukan penelitian mengenai efisiensi mesin Stirling dengan menggunakan cermin parabola untuk memfokuskan radiasi matahari pada mesin. Pengembangan mesin Stirling tipe beta untuk sumber panas suhu rendah dan menengah dengan menggunakan masukan panas dari pembakar gas domestik juga telah dilakukan. Mesin Stirling tipe LTD (low temperatur differential) juga telah diuji menggunakan pembakar LPG untuk melihat pengaruh perpindahan material. Pemanfaatan sumber panas suhu tingkat rendah berbasis biomassa telah dimodelkan, dan hasilnya menunjukkan bahwa model komputasi dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja mesin Stirling. Selain digunakan secara terpisah dengan sumber panas eksternal sumber, mesin Stirling juga dapat diintegrasikan dengan pembakar wood pellet. Pengembangan mesin Stirling tipe al gamma untuk aplikasi mCHP juga telah dilakukan penulis bersama tim sejak tahun 2017 hingga saat ini yang telah membuahkan hasil. dua prototipe mesin yang diberi nama MCPHSE-012018 dan mCHPSE-012019. Kedua generasi mesin Stirling yang telah diproduksi. Salah satu penyebab konfigurasi gamma lebih diminati untuk dikembangkan karena memiliki nilai yang lebih tinggi. keluaran daya dan efisiensi termal dibandingkan alfa dan beta. Berdasarkan penelitian terdahulu terhadap dua rancangan sebelumnya, ditemukan bahwa unjuk kerja mesin Stirling sangat berkaitan dengan perbedaan temperatur kerja gas antara ruang muai dan ruang kompresi. Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan suhu gas kerja adalah

sumber panas eksternal. Komponen yang berperan penting dalam menghasilkan sumber panas pada sistem ini adalah burner. Komponen ini juga digunakan pada kompor memasak LPG konvensional dengan fungsi yang sama. Karena rancangan mesin Stirling ditujukan untuk aplikasi mCHP yang memanfaatkan sumber panas dari aktivitas memasak, maka komponen burner ini perlu dimodifikasi agar dapat digunakan bersama dalam sistem ini, yang berfungsi untuk kedua proses yaitu memanaskan gas kerja dan memasak. Konsep Integrasi Burner Mesin Stirling dengan Kompor Masak menjadi fokus kajian penelitian eksperimental ini karena belum pernah dilakukan penelitian mengenai Mesin Stirling sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja mesin Stirling mCHPSE-012020 dengan menggunakan sumber panas yang dihasilkan dari pembakar LPG yang terintegrasi dengan kompor masak. Penelitian ini penting karena hasil pengembangan teknologi diharapkan dapat mendukung inisiatif global untuk mengidentifikasi sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan serta meningkatkan efisiensi energi dalam penerapan rumah tangga. Prototipe mesin Stirling tipe gamma generasi ketiga mulai dikembangkan pada tahun 2020. Tata letak prototipe mesin Stirling telah dikembangkan dan burnernya. Salah satu perbedaan dari desain sebelumnya adalah posisi mesin berubah dari horizontal menjadi vertikal karena heater menyesuaikan dengan sumber panas dari pembakar kompor masak. Mesin Stirling yang dikembangkan bersama tim peneliti mCHPSE diberi nama mCHPSE-012020. Mesin ini terdiri dari beberapa bagian utama yaitu burner, heater, ruang muai, pipa sambungan, ruang kompresi, dan flywheel. Burner didesain berbentuk cincin untuk mengatur posisi heater yang vertikal. Selain sebagai pemanas dinding pemanas, burner juga berfungsi sebagai kompor

memasak. Pembakarnya terbuat dari Bahan Stainless Steel. Komponen tambahan pada burner berfungsi sebagai tempat memasak Kompor tersebut adalah penyangga panci, *flintstone* (sistem pengapian dan sistem gas), dan kenop. Fungsi batu api. untuk memadamkan api dan mengatur keluaran gas dari alat penyemprot; sprayer berfungsi untuk menyemprot dan mengubah kecepatan aliran gas menjadi lebih cepat dan berfungsi sebagai pengaman agar tidak terjadi kebakaran kembali ke tabung gas LPG. Penyangga panci berfungsi sebagai penahan panci dengan jarak 65 mm.dari outlet pembakar. Seluruh komponen tambahan tersebut diambil dari kompor LPG yang ada di pasaran dengan standar SNI (standar nasional Indonesia). Selain itu juga ditambahkan blower yang mana berfungsi untuk menyuplai udara tambahan ke burner sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik.

Pemanas merupakan salah satu komponen penting pada mesin Stirling yang memanaskan gas kerja di dalam silinder sehingga gas mengembang dan mendorong piston atau displacer sehingga menghasilkan mekanis gerakan. Pemanas biasanya dibuat dari bahan dengan konduktivitas termal tinggi, seperti tembaga, aluminium, dan baja tahan karat. Pemanas dapat berbentuk pipa, pelat, dan kumparan yang ditempatkan dekat sumber panas eksternal. Pemanas yang digunakan pada mesin Stirling ini berbentuk pipa diproduksi menggunakan baja tahan karat. Stainless steel dipilih sebagai material pemanas mesin Stirling.karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan oksidasi dan korosi, kekuatan mekanik, (Napitupulu et al., 2023)

Kebutuhan energi sektor rumah tangga di Indonesia meningkat dari 116 juta satuan biaya pemeliharaan (SBM) pada tahun 2016 dan diprediksi menjadi

483 juta satuan biaya pemeliharaan (SBM) pada tahun 2050. (Zainudin et al., 2020)

Suatu alat atau mesin dapat dikatakan tidak sempurna bahkan gagal bila salah dalam melakukan proses pembuatan, salah dalam menentukan mesin perkakas, pemilihan material yang tidak tepat dan lain-lain. Tidak jarang mesin yang sedang beroperasi mengalami kerusakan. Desain dan pembuatan peralatan berbasis teknologi tepat guna (TTG) dan pengujian material telah penulis lakukan wbersama dengan Tim. (Jurnal, Mesin, Irfansyah, et al., 2022)

Teori *Schmidt* adalah salah satu metode perhitungan *isothermal* untuk mesin *Stirling*. Ini adalah metode yang paling sederhana dan sangat berguna selama pengembangan mesin *Stirling*. Teori ini didasarkan pada ekspansi *isothermal* dan kompresi gas ideal. Performa mesin dapat dihitung menggunakan diagram P-V. Volume dalam mesin dapat dihitung dengan menggunakan *geometri internal*. (Dalimunthe, H, R, Syam, B, Sabri, M, Isranuri, I, 2016)

Untuk menganalisis unjuk kerja mesin *Stirling* generasi ke-3 dengan pendekatan analisis *termodinamika* siklus ideal. Model analisis *termodinamika* mesin *Stirling* telah banyak diberikan dalam literatur, dengan berbagai asumsi. Pemodelan mesin *Stirling* dapat dibagi menjadi tiga kategori. Analisis ideal menghitung kinerja *teoritis* mesin dengan koefisien perpindahan panas konveksi nol atau tak terbatas (28-30). Analisis gabungan didasarkan pada diskritisasi halus mesin dalam volume kontrol yang berbeda, dengan mempertimbangkan semua kelemahan utama Model paling dasar dalam perhitungan dan analisis mesin

Stirling adalah siklus Stirling ideal berdasarkan pendekatan solusi *termodinamika*.

(Jufrizal et al., 2022)

Mesin *stirling* dibagi menjadi tiga tipe yaitu: mesin *stirling* tipe *alpa*, mesin *stirling* tipe *beta* dan mesin *stirling* tipe *gamma*. Setiap tipe ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Mesin *stirling* tipe *gamma* dipilih sebagai desain dalam penelitian ini karena mempunyai keuntungan yaitu desain yang sederhana dan rendah gesekan dibanding dengan jenis lain. Penelitian ini, bahan bakar yang digunakan pada mesin *stirling* yaitu *Gas LPG (liquefied Petroleum Gas)*. Tahapan penelitian ini dimulai dengan mendesain *stirling engine tipe gamma* dengan menggunakan *Schmidt analysis*. *Schmidt analysis* ini memiliki kelebihan dimana analisa ini sangat akurat dalam memprediksi siklus karena memperhitungkan tiga volume mati yaitu: volume mati ekspansi, volume mati kompresi dan volume mati *regenerator*. Disamping itu analisa ini juga memiliki kekurangan dimana analisa ini tidak cocok dalam memprediksi efisiensi dan perpindahan panas dari mesin *stirling*. *Stirling engine* generasi pertama yang telah dirancang oleh penulis dibantu oleh Tim Riset *Stirling Engine* 2018 adalah tipe *gamma* yang diberi nama mCHPSE-012018. (Zainudin et al., 2020)

Dengan demikian, mengingat mesin *stirling* sangat memiliki potensi untuk dikembangkan maka penulis disini akan mendesain dan menguji *stirling engine tipe gamma* dengan menggunakan *Schmidt analysis*. Penelitian ini berfokus pada pengujian temperatur pembakaran dan volume pada komponen *piston* mesin *stirling* mCHPSE-012021 yang memampatkan bagian dari kompresor ½ hp. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami cara kerja dasar penggunaan komponen dari *piston*, memahami tekanan piston, dan mengetahui temperature

udara di dalam *silinder piston*, agar mesin *stirling* mCHPSE kedepannya menjadi lebih baik, presisi dan bisa di andalkan oleh masyarakat dan dunia industri.

1.2 Rumusan 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. Komponen bagian *piston* di ambil dari bagian kompresor angin ½ hp, sehingga perlu di uji kemampuan untuk di gunakan pada komponen di bagian *piston*.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Tujuan umum

Tujuan umum penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :
:Menguji kemampuan dari komponen bagian dari *piston* mesin *stirling* mCHPSE-012021

2. Tujuan khusus.

Adapun tujuan khusus dari penelitian tugas ahir ini adalah :

1. Membuat disain mesin mesin *stirling* di bagian *piston power*.
2. Volume di hitung sebagai fungsi poros engkol.
3. Mengetahui kerja dan tekanan pada *piston power*.
4. Mengetahui *temperature* pada *piston power*.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan penjelasan sementara yang harus di uji kebenarannya mengenai masalah yang di teliti, di mana hipotesis selalu di rumuskan dalam bentuk pernyataan yang menghubungkan dua variabel atau lebih.

1. Tidak ada pengaruh kebocoran pada tekanan kompres yang di inginkan, yang bertujuan untuk menggerakan *crankshaft*.
2. Ada pengaruh kebocoran pada tekanan kompres yang mengakibatkan lambatnya gerakan *crankshaft* pada mesin .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah:

1. Menambah kepustakaan tentang mesin stirling mCHPSE tipe gamma.
2. Dapat di kembangkan untuk penelitian selanjutnya sehingga diharapkan kemampuan dari mesin stirling mCHPSE-012021 tipe gamma semakin maksimal.
3. Sebagai masukan bagi kalangan akademisi dan pihak terkait khususnya pada pengujian piston terhadap kemampuan stirling engine mCHPSE-012021.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang terbesar digunakan di dunia saat ini. Hampir semua aktivitas kehidupan manusia memanfaatkan energi fosil sebagai bahan bakar. Penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus akan berdampak pada menipisnya persediaannya di alam dan memberikan kontribusi yang besar terhadap pencemaran lingkungan. (Siregar et al., 2022)

Renewable energy atau *energy* terbarukan Sebenarnya sudah mulai dikenalkan pada tahun 1970-an sebagai upaya dalam mengimbangi energi berbahan bakar *nuklir* dan fosil. Namun di era yang serba modern seperti saat ini konsep pembaharuan energi lebih dituntut untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang inovatif. Salah satunya adalah pemanfaatan energi termal (Fanani et al., 2021)

Mesin stirling memiliki tiga konfigurasi yang bisa di gunakan tetapi perbedaan konfigurasi tersebut tidak akan mempengaruhi proses termodinamika (Oky Dwi, 2012)

Konfigurasi alpha, konfigurasi alpha memiliki dua piston pada setiap sisi pemanas, generator dan pendingin. kerja kompresi terjadi pada piston pendingin dan ekspansi terjadi pada piston pemanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian isolasi pada pipa generator mesin stirling tipe

alpha, mesin stirling tipe alpha terbukti dapat mengurangi banyak kehilangan energi atau panas (*heat loss*) akibat pipa generator yang terlalu panjang, dengan perbandingan nilai *heat loss* 226,66 W untuk pipa generator yang menggunakan isolasi yang nilainya jauh lebih kecil dibandingkan nilai *heat loss* ketika pipa generator tanpa menggunakan isolasi yaitu 1.584,12 W (Dhimas Satria et al., 2021)

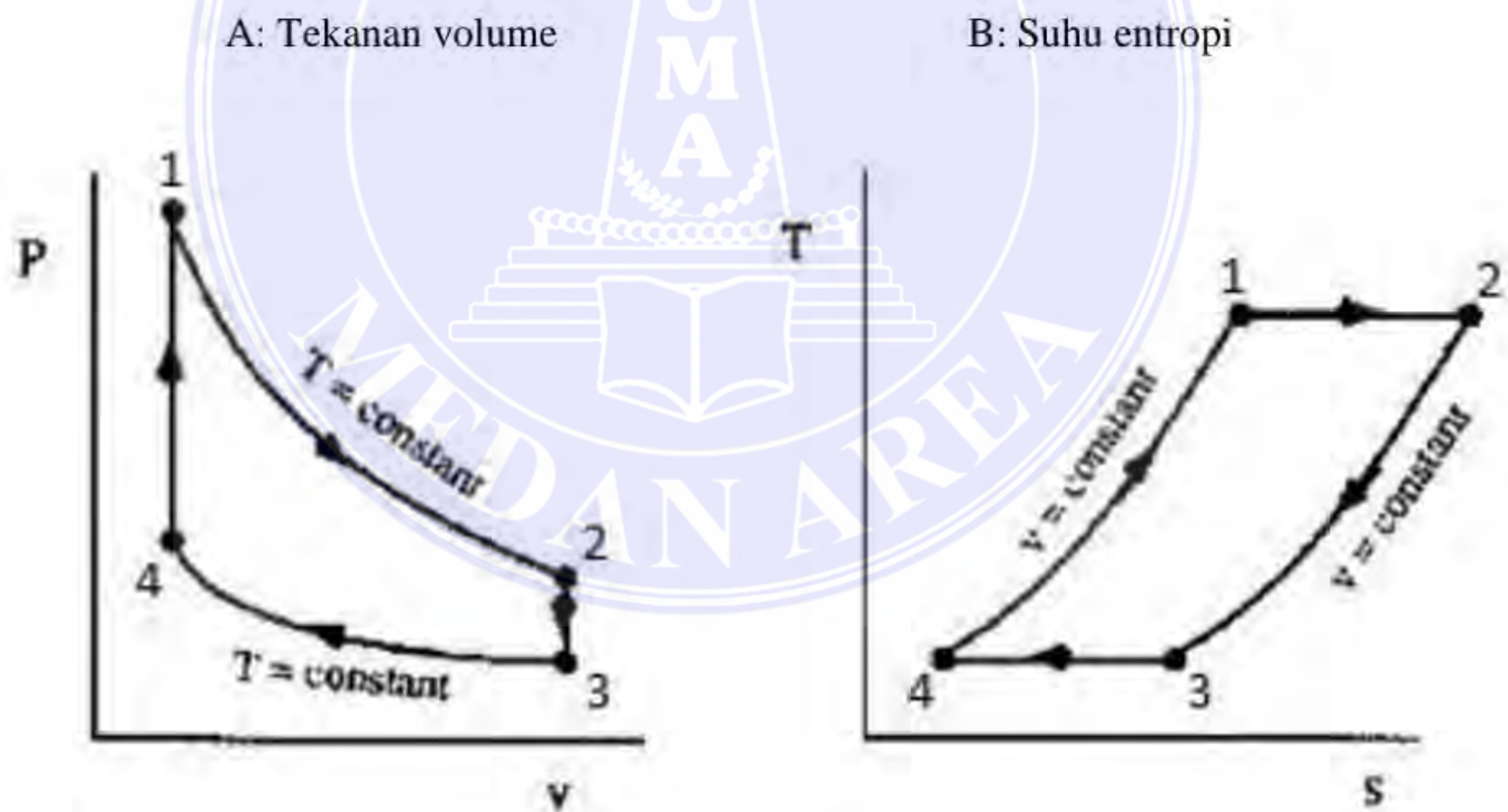
Konfigurasi beta, konfigurasi beta merupakan rancangan pengabungan dua piston yaitu displacer dan daya dalam silinder yang sama. *Displacer* yang mengabungkan untuk membolak balik gas antara ujung panas dan ujung dingin silinder melewati sumber panas, generator, dan pendingin. Poros engkol berputar searah jarum jam. Pemanasan fluida kerja terjadi pada silinder panas, sedangkan pada silinder dingin fluida kerja didinginkan menggunakan udara bebas (Fenoria putri, dwi Arnoldi, 2013)

Konfigurasi gamma, konfigurasi gamma menggunakan dua silinder terpisah antara displacer dan power piston silinder tersebut berisi beberapa jumlah gas yang di pindahkan dari sisi panas ke sisi dingin secara terus menerus, pemindahan tersebut di kerjakan perpindahan piston yang di pindahkan oleh gas yang di antara dua sisi dan gaya piston mengubah volume internal krena pemuayan dan kontrasi pada gas.(HP, 2012)

Konfigurasi stirling piston bebas, Pada dasarnya mesin stirling tipe free piston ini hampir sama dengan mesin stirling pada umumnya. Hanya saja, mesin stirling tipe ini tidak memakai flywheel dengan crankshaft sebagai mekanisme penggerak pistonnya. Keuntungan dari ketidakhadirannya crankshaft dan flywheel di mesin ini yakni berupa struktur mekanik yang simpel dan compact

tetapi menghasilkan daya densitas yang besar. Pengoperasian mesin ini juga menggunakan variabel rasio kompresi. (Rahmalina et al., 2021)

Siklus Stirling adalah siklus termodinamika yang sangat ideal, yang terdiri dari dua proses isothermal dan dua volume konstan dan siklusnya dapat dibalik secara termodinamika. Asumsi pertama dari kerja isothermal dan pertukaran panas menyiratkan bahwa penukar panas harus benar-benar efektif dan untuk melakukannya diperlukan laju perpindahan panas yang tak terbatas antara dinding silinder dan fluida kerja. Asumsi kedua mensyaratkan perpindahan panas nol antara dinding dan fluida kerja, kedua asumsi tetap tidak valid dalam operasi mesin yang sebenarnya. (Thombare & Verma, 2008)



Gambar 2. 1 Siklus ideal mesin *stirling*

Proses 1-2 adalah proses kompresi isotermal dimana panas dipindahkan dari fluida kerja ke sirip luar pada temperatur T_{min} . Prosedur ini ditentukan oleh piston yang mengompresi fluida kerja untuk meningkatkan tekanan dari P_1 ke P_2 . Karena panas mengalir dari pendingin ke lingkungan, suhunya tetap konstan.

proses 2-3 adalah proses regenerasi isokorik dimana panas dipindahkan dari matriks regenerator ke fluida kerja. Fluida kerja dipindahkan dari ruang kompresi ke ruang ekspansi melalui regenerator berpori, dengan dua piston bekerja secara bersamaan. Piston bergerak menuju regenerator dan displacer menjauhi regenerator sehingga volume antar piston tetap konstan. Fluida kerja telah dipanaskan terlebih dahulu di regenerator. Temperatur fluida kerja meningkat dari T_{min} ke T_{max} dengan mentransfer panas dari matriks regenerator ke fluida kerja.

Proses 3-4 adalah proses *ekspansi isotermal*, mentransfer panas ke fluida kerja pada suhu T_{max} dari sumber panas eksternal. Proses ini terjadi ketika *displacer* bergerak menjauhi *regenerator* menuju titik mati bawah sedangkan *piston* kompresi tetap berada di titik mati atas yang berdekatan dengan regenerator. Tekanan berkurang dengan bertambahnya volume. Suhu tetap konstan dengan menambahkan panas ke sistem dari pemanas.

Proses 4-1 adalah proses regenerasi isokorik, memindahkan panas dari fluida kerja ke matriks regenerator. Proses ini terjadi ketika kedua piston bergerak bersamaan untuk memindahkan fluida kerja dari ruang ekspansi ke ruang kompresi melalui regenerator dengan volume konstan. Panas dipindahkan

dari fluida kerja ke *matriks regenerator*. Selama fluida kerja mengalir melalui *regenerator*, panas dipindahkan dari fluida kerja ke matriks regenerator, yang menurunkan temperatur fluida kerja menjadi T_{min} . (Jufrizal et al., 2022)

Prinsip kerja dari motor stirling yaitu memanfaatkan sifat udara yang memuai bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan. Fluida yang berada dalam stirling akan mengalami pemuaian dan penyusutan karena terdapat perbedaan temperatur sehingga motor dapat bergerak. Perbedaan temperatur mengakibatkan adanya perbedaan tekanan yang menghasilkan ekspansi dari fluida kerja. Ekspansi ini mengakibatkan piston yang dihubungkan dengan poros engkol akan berpindah dan menjadi kerja mekanik. Poros engkol dihubungkan dengan *flywheel* agar terjadi siklus selanjutnya. Pengaruh Variasi Pelumasan Batang Torak Displacer Terhadap Performansi putaran (RPM) mesin Stirling Dari pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui performansi putaran mesin Stirling dengan menggunakan jenis oli SAE 10, SAE 40, SAE 90, menggunakan alat ukur RPM (tachometer). Untuk setiap pengujian SAE 10, SAE 40, SAE 90 batasan waktu pengujian 30 menit dengan pengambilan data setiap 5 menit 1 kali. Terlihat pada tabel 1.1 di bawah ni. (Siregar et al., 2023)

Table 1.1 Hasil Pengujian Putaran (RPM) mesin Stirling

WAKTU	VARIASI PELUMASAN PADA BATANG TORAK DISPLACER		
	SAE 10	SAE 40	SAE 90
Menit	RPM	RPM	RPM
5	232	224	194
10	251	246	232
15	263	255	241
20	267	258	246
25	268	259	248
30	270	260	250
MIN	232	224	194
MAX	270	260	250
RATA-RATA	258.5	250.3333333	235.17

Mesin Stirling tipe gamma, berdasarkan konsep roda gila, dirancang dan dibuat. Desain mesin yang dioptimalkan, dengan batang penghubung, diperkenalkan untuk mencapai kondisi stabil dari siklus mesin Stirling. Oleh karena itu, kinerja mesin disajikan dalam bentuk gerakan piston, gaya inersia, kecepatan sudut, diagram tekanan-volume, dan perbedaan suhu. Sumber kalor apapun dapat dimanfaatkan selama temperaturnya cukup tinggi, akan bisa menggerakkan mesin Stirling ini. Banyak teori yang bisa dijadikan dasar untuk analisis termodinamik mengenai mesin Stirling. Salah satunya dikemukakan oleh *Schmidt* (1871), yang kemudian dikenal dengan nama *Schmidt theory*. Dalam perkembangannya, mesin Stirling dapat digunakan sebagai pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan, seperti energi matahari.

2.2. Rumus – Rumus Yang Digunakan

2.2.1. Volume sebagai fungsi poros engkol

Untuk mencari nilai volume kompres maka dengan menggunakan persamaan

$$(2.1) \quad V_c = \frac{V_{SD}}{2} [1 + \cos(\Theta)] + \frac{V_{SP}}{2} [1 - \cos(\Theta - \phi)] + V_{DC} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana : V_c : Volume kompres

V_{SD} : Volume piston pemindah

V_{SP} : Volume satuan piston daya

V_{DC} : Volume mati kompres

$$V_{DC} = \frac{1}{4} (\pi D^2 L_c) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : π : jari – jari

D_{Dis} : diameter silinder pemindah

D_p : Diameter silinder power.

L_c : Celah volume mati

$$V_{sp} = \frac{\pi D^2 Y_o}{4} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : V_{sp} : volume satuan piston daya

D_{Dis} : diameter silinder pemindah

Y_o : jarak langkah piston

$$V_{SD} = \frac{\pi D^2 D_{Dis} Y_o}{4} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : D_{Dis} : diameter silinder pemindah

x_o : jarak langkah piston

2.2.2. Tekanan

Tekanan merupakan salah satu pokok pembahasan penelitian ini . penelitian ini menggunakan persamaan gas ideal untuk menentukan tekanan. Untuk mencari tekanan dapat di peroleh dengan persamaan berikut.

$$P_v : ZRT \dots\dots\dots (2.6)$$

$$P : \frac{ZRT}{V} \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk gas ideal nilai Z: 1 maka di temukan persamaan sebagai berikut :

$$P : \frac{RT}{V} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : p: tekanan

R : konstanta gas

T : Temperatur

Z : factor komprisibilitas

2.2.3. Temperatur sisi dingin

Perlu di ketahui nilai temperatur yang ada pada sisi yang terkena panas dan tidak, hal ini agar menjaga msin agar tetap beputar. Untuk mengetahui perbedaan temperaturnya di gunakan persamaan (2.9)

$$\Delta T : T \text{ sisi panas} - T \text{ sisi dingin} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana : ΔT : perbedaan temperature

2.2.4. Massa fluida

Massa fluida kerja di hitung dengan pendekatan dengan persamaan gas ideal (2.9)

$$m = \frac{p_1 \times v_1}{R \times T_1} \dots\dots\dots(2.9)$$

2.2.5. Kerja Siklus

Kerja yang di lakukan oleh siklus menurut hukum pertama dalam termodinamia di hitung dengan persamaan (2.10)

$$W_c = Q_{1-2} = Q_{out} = m R T_i \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \dots\dots\dots(2.10)$$

2.2.6. Daya Yang Dihasilkan

Daya yang di hasilkan pada siklus ideal dapat di hitung dengan persamaan (2.11) dan (2.12). n adalah kecepatan putaran mesin stirling.

$$P = n \times W \dots\dots\dots(2.11)$$

$$P = n \frac{1}{60} W \dots\dots\dots(2.12)$$

2.2.7. Efisiensi stirling

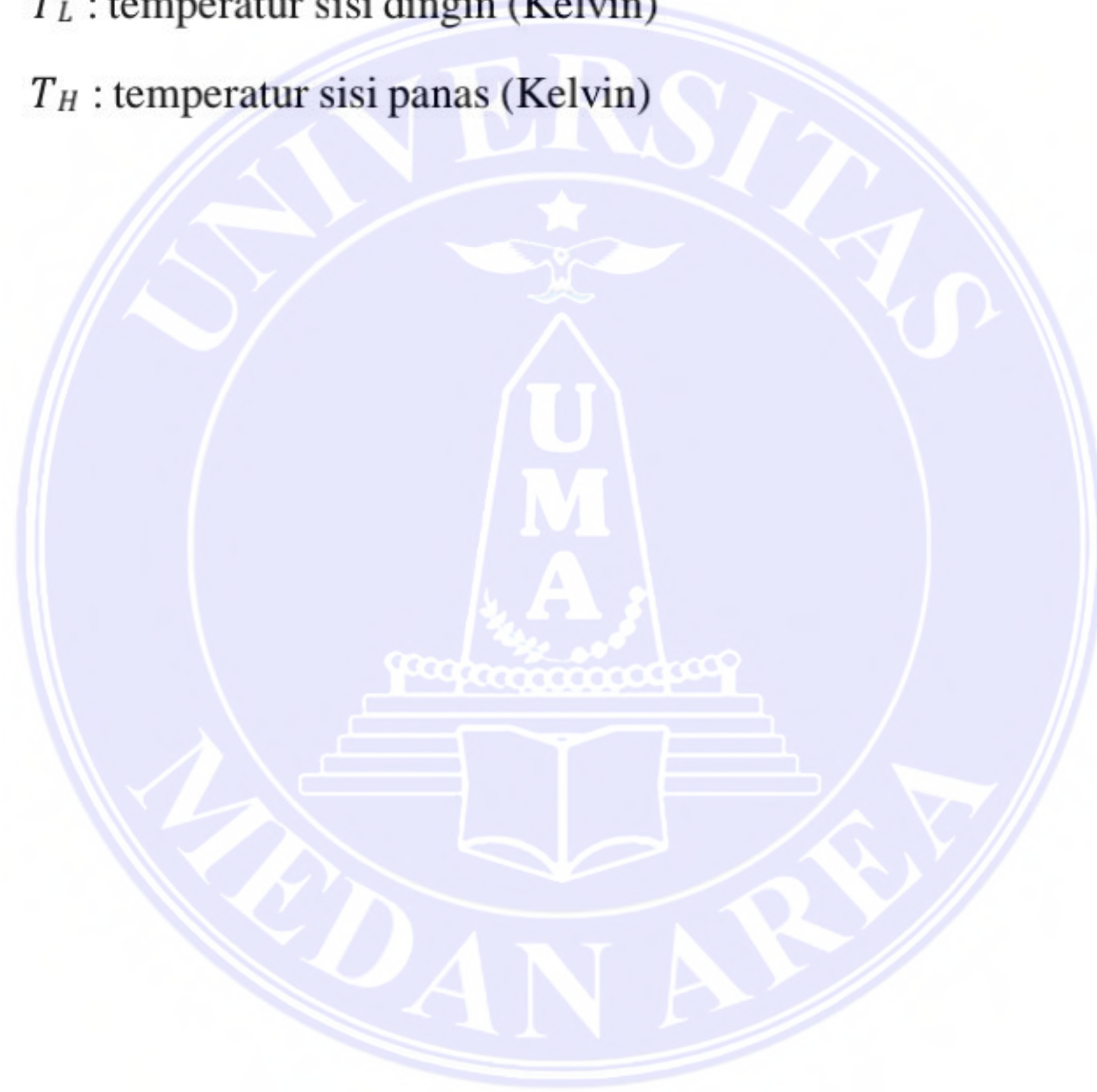
Efisiensi stirling dapat dihitung dengan persamaan (2.13)

$$\eta_{stirling} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

T_L : temperatur sisi dingin (Kelvin)

T_H : temperatur sisi panas (Kelvin)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat :

Kegiatan penelitian dilaksanakan di CV. IRA PUBLISHING. Perum Graha Garuda Mas Blok II no.39. Dusun V Desa Sigara Gara. Kec patumbak. Kab Deli Serdang. Sumatra Utara

Waktu :

Penelitian dilakukan selama 4 bulan dengan jadwal kegiatan Penelitian dilihat pada tabel 3.1.

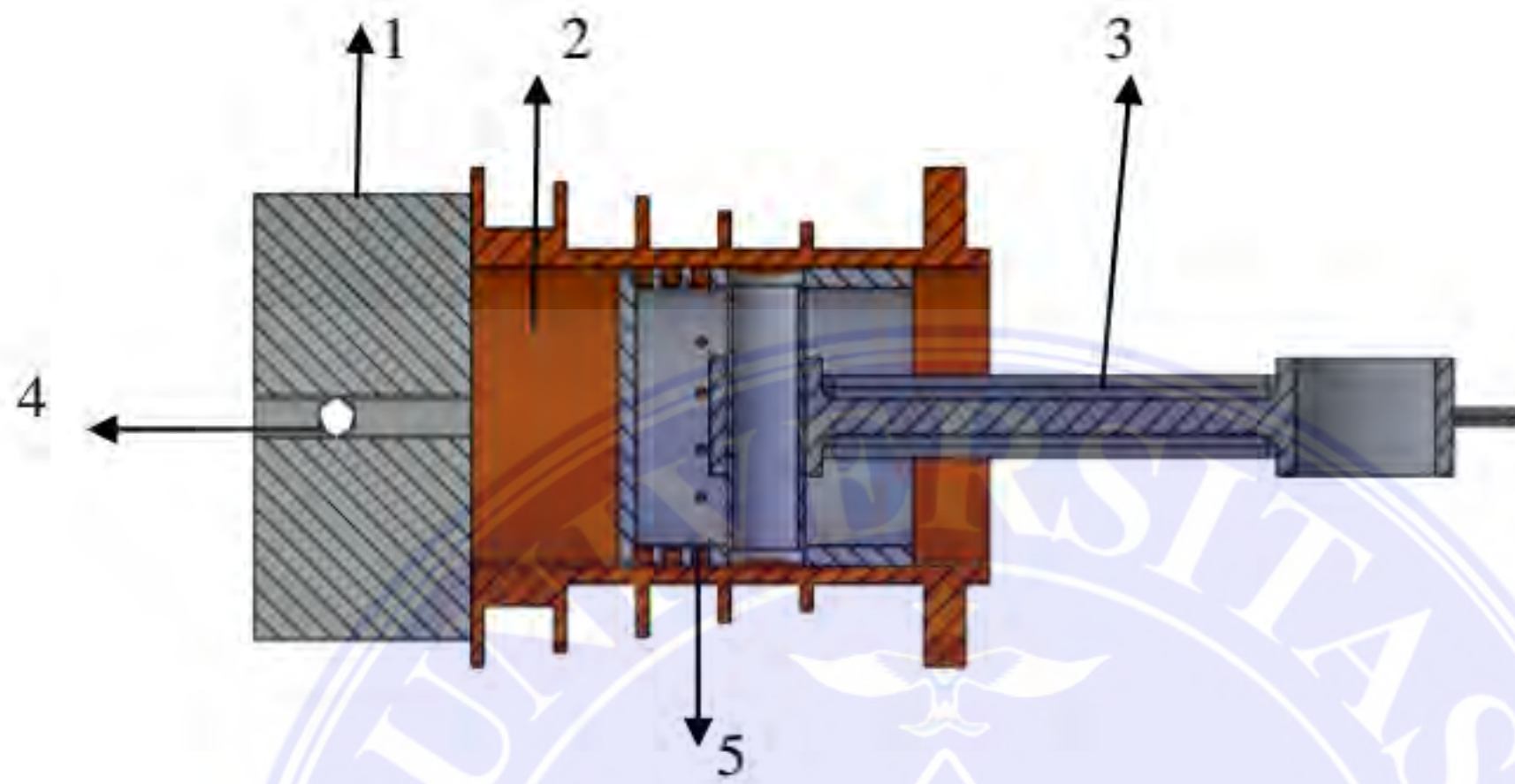
Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian

Aktifitas	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV				Bulan V				Bulan VI
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
	Pengajuan Judul	■	■	■	■																
Penulisan Proposal					■	■	■	■													
Seminar Proposal									■	■	■	■									
penulisan hasil													■	■	■	■					
Seminar hasil																	■	■	■	■	
sidang																					■

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

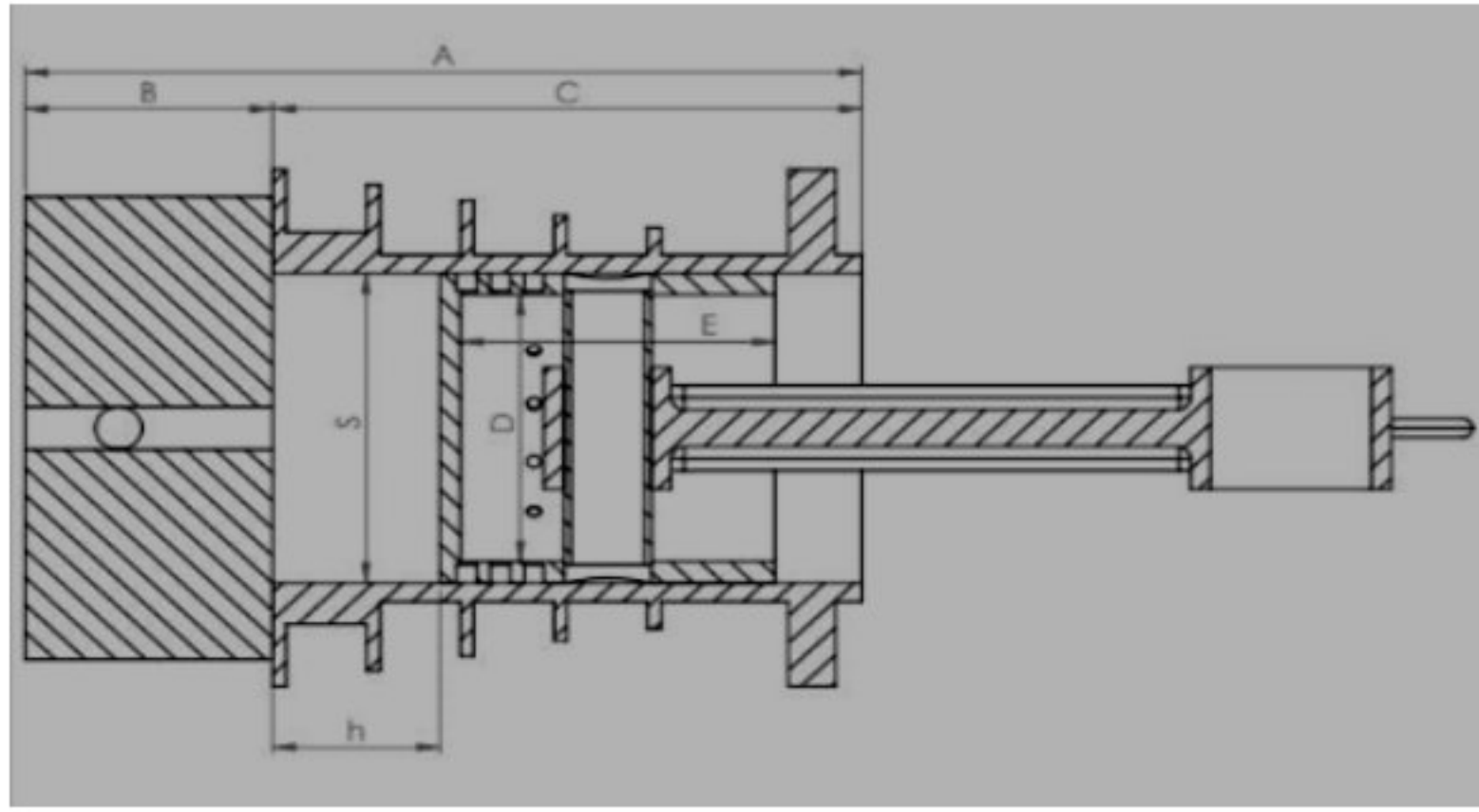
Model stirling mCHPSE-012021 yang dibuat terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *displacer* (piston), *burner*, *silinder*. Sistem osilasi *air*

menggunakan pipa *cooler* yang dihubungkan pada bagian sisi dingin dari alat *stirling*. Motor *stirling* mCHPSE-012021 ini menggunakan besi plat Siku sebagai dudukannya. Gambar 3.1, Gambar 3.2. adalah model alat penelitian yg dilakukan.



Gambar 3.1. Model kontruksi alat penelitian

1. *Top sllinder*
2. *Sllinder piston power*
3. *Connecting-rod*
4. *Hole coller pipe*
5. *Piston power*



Gambar 3.2. Model konstruksi piston

Gambar 3.1 memperlihatkan model dari alat stirling mCHPSE-012021 yang telah dibuat. Gambar 3.2 dan 3.3 memperlihatkan susunan piston serta dimensi dari piston dan batang piston. Komponen-komponen dari *stirling* mCHPSE-012021 terdiri dari beberapa komponen yang mudah didapat dan mudah dikerjakan. Piston pada alat ini menggunakan aluminium sebagai bahannya dengan ukuran 50 mm dan ketebalan dinding 1 mm. Dipilihnya material ini mengingat bahwa piston harus terbuat dari bahan yang ringan dan tahan terhadap panas. Sehingga saat tekanan di dalam stirling naik, *Air* yang digunakan mampu untuk mengangkat piston. Tidak seperti pada umumnya, *displacer* pada *stirling* mCHPSE-012021 ini memiliki celah antara dinding silinder bagian dalam. Hal ini dikarenakan jika piston dibuat sliding dengan dinding silinder bagian dalam, maka akan terjadi gesekan yang menghambat laju dari langkah piston tersebut. Piston ini hanya berfungsi sebagai pemindah fluida dari sisi panas ke sisi dingin atau sebaliknya. Selain alat utama seperti Gambar 3.2, digunakan alat-alat pendukung sebagai berikut:

a. *Stopwatch*

Digunakan untuk mengukur waktu saat air mulai berosilasi dan menghitung frekuensi / langkah terhadap waktu. Seperti gambar (3.4) di bawah ini



Gambar 3.3. stopwatch

b. *Thermocouple Sensor*

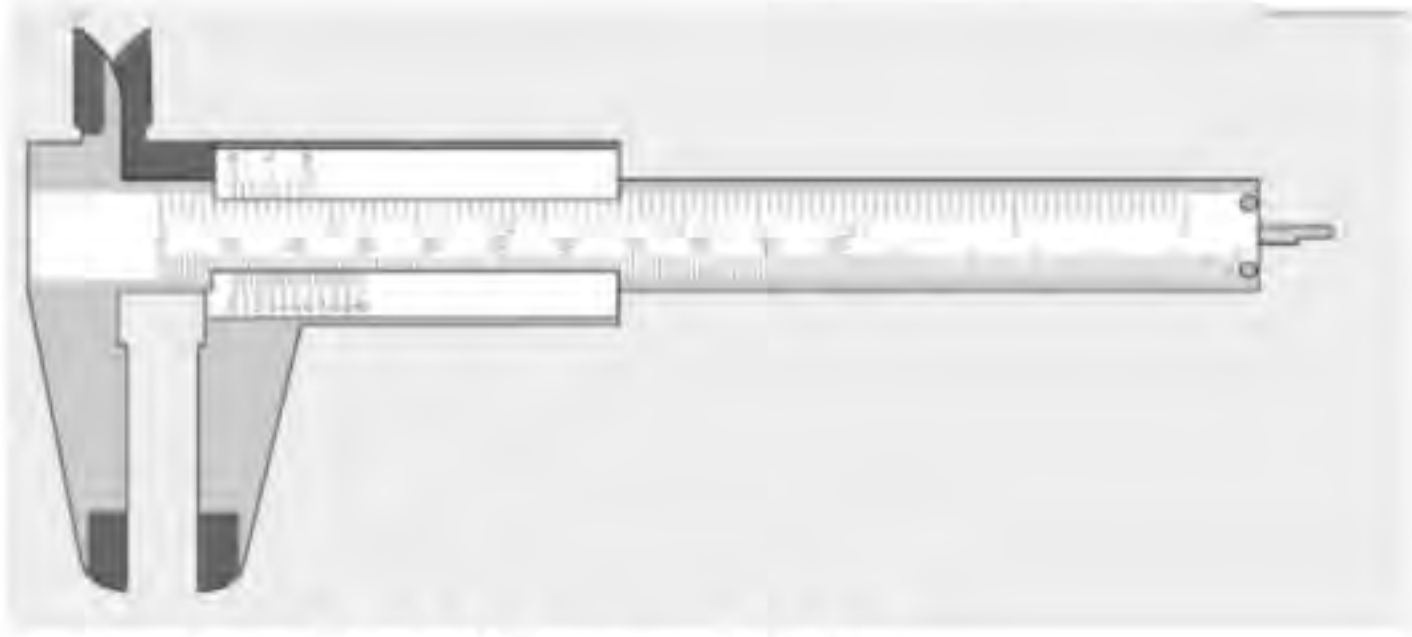
Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur dinding silinder panas dan silinder dingin pada mesin stirling Adapun spesifikasi dari alat ini sebagai berikut: *Temperature probe krisbow type KW06-297* Description : *Temperature probe solid and liquid* Keakuratan pembaca : 0 s/d 13500C yang di tunjukan pada gambar (3.5) di bawah ini.



Gambar 3.4. *Thermocouple Sensor*

c. *Milimeter blok*

Digunakan untuk mengukur panjang langkah osilasi. Yaitu di tunjukan pada gambar (3 6) di bawah ini.



Gambar 3.5. Miliimeter Blok

d. Termometer

Digunakan untuk mengukur temperatur pada silinder dan burner.. yaitu ada tertera pada gambar (3 7) di bawah.

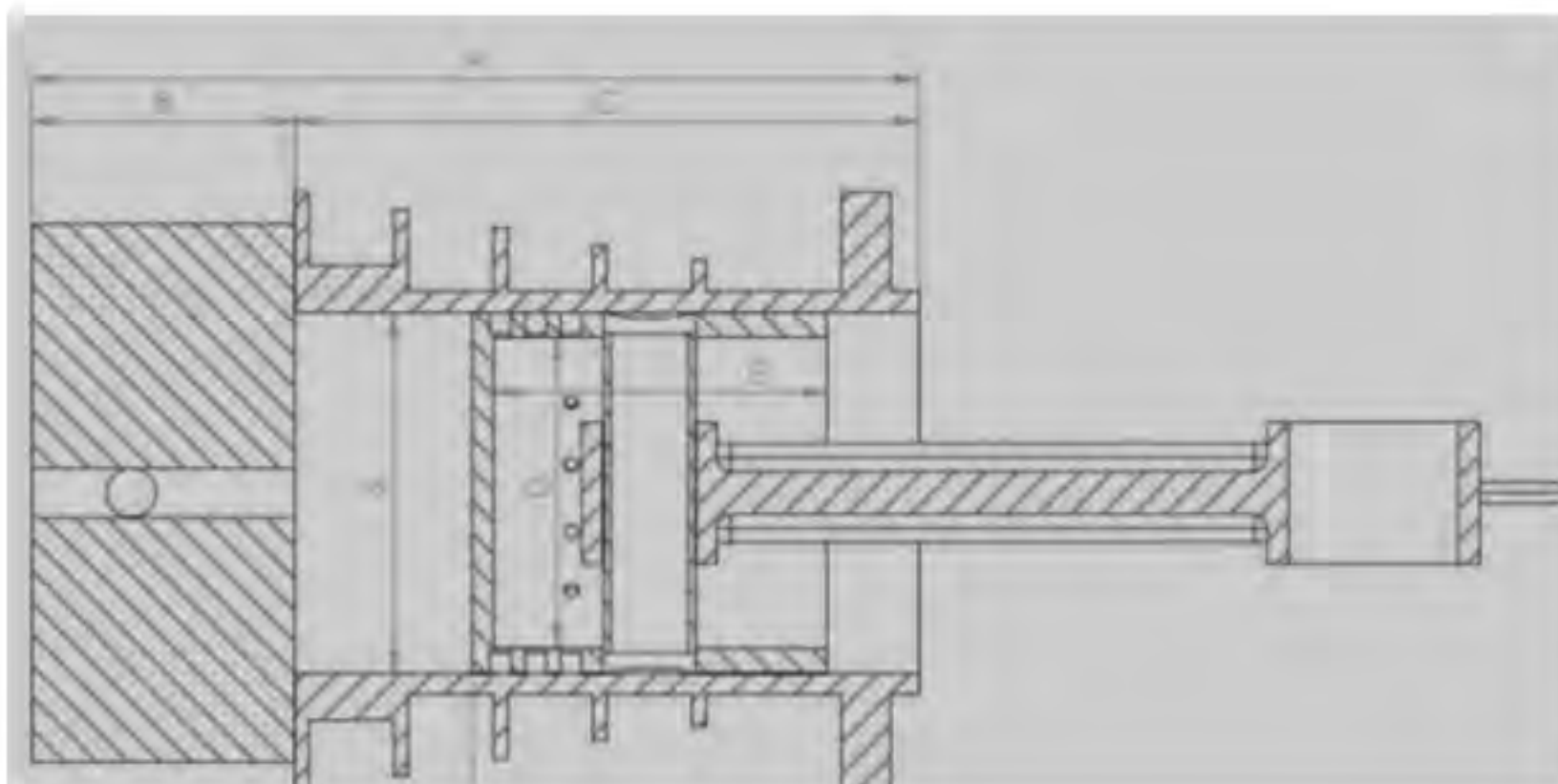


Gambar 3.6. Termometer

3.3 Populasi dan Sampel

Penelitian ini merupakan penelitian yang bertujuan mencari tahu pengaruh antara hasil satu dengan hasil yang lainnya, yang di sebut dengan experimental.

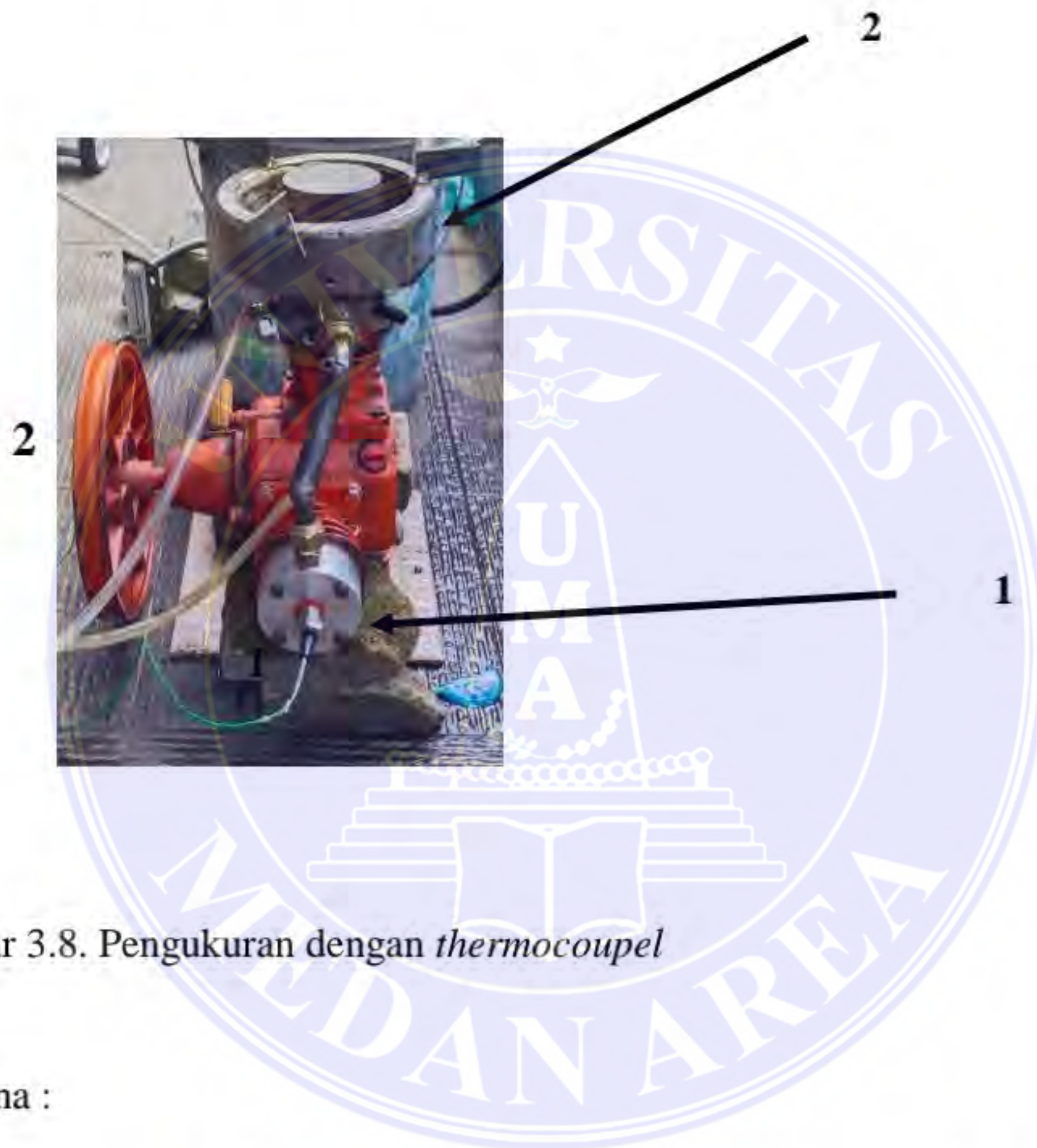
Di bawah adalah gambar 3.7 ukuran dan titik-titik yang akan di ukur di dalam penelitian ini:



Gambar 3.7. Asambling piston power

Pengukuran yang di lakukan.

Gambar (3.9) di bawah ini adalah gambar penunjuk bagian-bagian mesin stirling yang akan di ukur dengan *thermometer coupel*



Gambar 3.8. Pengukuran dengan *thermocoupele*

Di mana :

1. Pengukuran temperatur di bagian ruangan *silinder piston power* dengan menggunakan alat *thermocouple*.
2. Pengukuran teperatur api *burner* dengan menggunakan alat *thermocouple* untuk memanaskan *heater* yang sebelum mengalir ke ruangan *slinder piston power*.

3.4 Prosedur Kerja

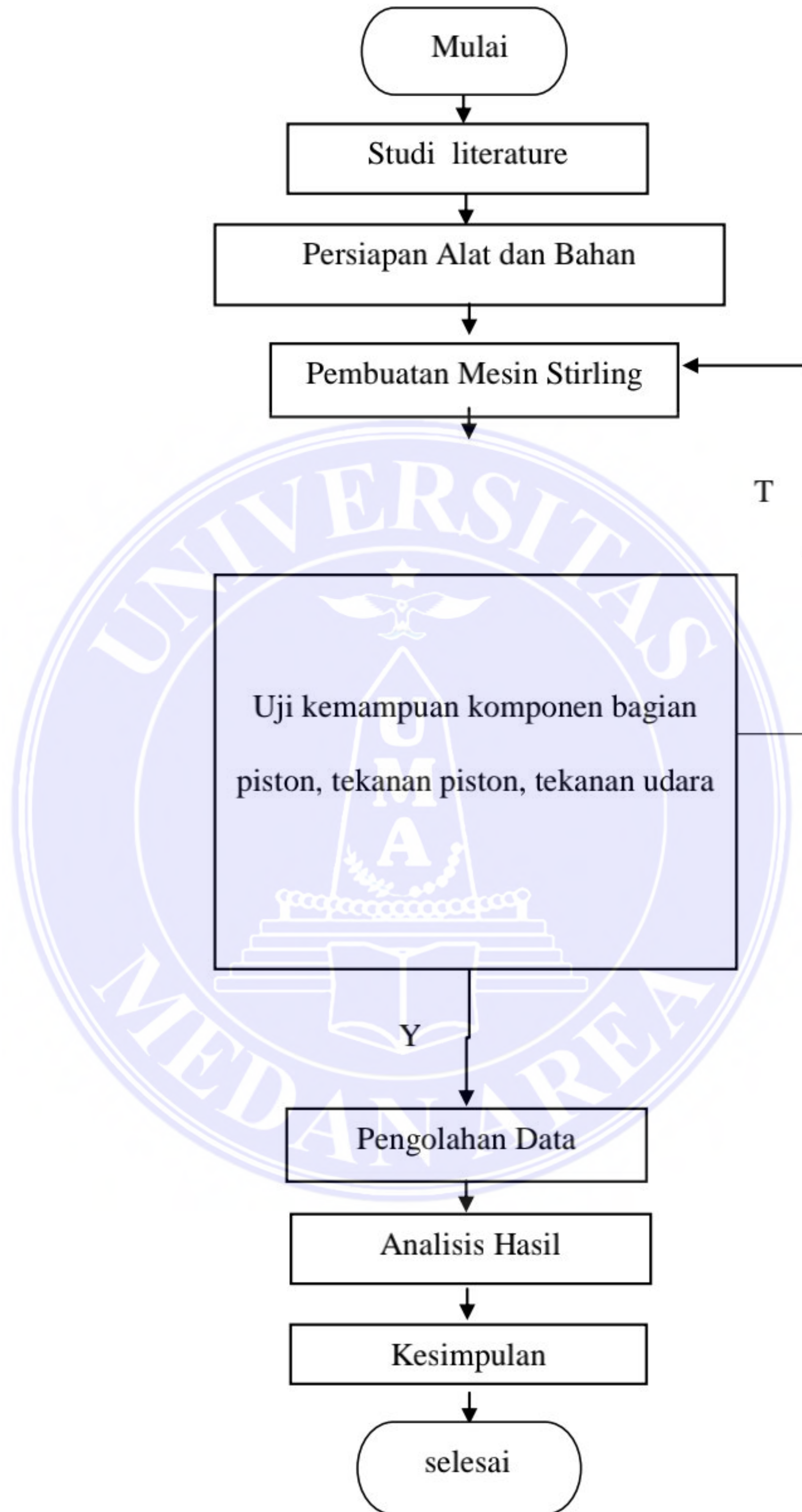
Di dalam penelitian ini ada 2 pengujian yang pertama Pengambilan data pada penelitian di dalam ruangan, dengan mengamati perubahan temperatur pada burner dan silinder ruang dingin yang ditunjukkan oleh *thermocouple*, yang ke dua mengukur sudut engkol guna mengetahui volume yang ada pada silinder sisi dingin menggunakan metode *tschmid*. Adapun langkah-langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut.

1. Memasang semua alat ukur, seperti *Temperature Controller* diletakkan pada bagian silinder sisi dingin (T_e), dan *temperature* api (T_h).
2. Mempersiapkan sumber api kompor gas yang digunakan untuk pengujian *Stirling engine* kemudian diletakkan dibagian ujung *heater Stirling engine* dengan jarak antara nozel dan *heater* + 20cm.
3. Pengambilan data pengujian suhu ruang dingin (T_e), temperatur api (T_h) dilakukan secara bersamaan. Pembacaan dilakukan dimulai dari sumber panas dihidupkan.
4. Melakukan pencatatan beberapa parameter, yaitu suhu dingin, temperatur api pada *burner*.

Tabel 3. 2. Variable Perubahan Yang Diamati Pada Penelitian

Variabel	Indikator	Deskriptor	Instrumen
<i>Temperature</i>	Api, Panas dan dingin	$^{\circ}\text{C}$	<i>Temperature controller</i>
<i>Volume compres</i>	Sudut poros engkol	Θ	Busur $^{\circ}$

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



Gambar 3. 8 Diagram alir penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil desain dan pembuatan dan analisis data mesin stirling tipe gamma yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Di bagian silinder pendingin Mesin stirling yang telah didesain dengan ukuran dimensi sebagai berikut:
Diameter piston power 0,05 m, panjang 0,051 m dengan tebal 0,003 m, dan pada bagian silinder tebal 0,003 m, panjang 0,12 m, dan diameter silinder 0,051 m pada bagian *flywheel* tebal 0,01 m, diameter 0,15 m dan *Connecting rod* dengan panjang 0,1205 m.
2. Dari desain yang telah dilakukan maka diperoleh volume maksimumnya yaitu 9,58983 mm³ dan volume minimumnya 9,26265 mm³ Sedangkan temperature silinder dingin yang di peroleh dari silinder panas selama 30 menit maksimumnya 75k di menit ke 23, dan minimumnya 33,4 k di menit ke 4 .
3. Pada pengujian mesin stirling ini diameter piston power 50 mm, panjang 51 mm dengan tebal 3 mm, dan pada bagian silinder tebal 3 mm, panjang 120 mm, dan diameter silinder 51 mm pada bagian flywheel tebal 10 mm, diameter 150 mm di hasilkan kerja $W_{1-2}=120,98 \text{ J}/(\text{kg.k})/\text{m}^3$ dan tekanan 1 yaitu 269.289 Pa atau setara dengan 2,657 atm dan tekanan 2 yaitu 278.800 Pa atau setara dengan 2,746 atm.

5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa perancangan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk perancangan dan penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk meningkatkan performa mesin perlu adanya pengembangan di bagian poros engkol agar dapat meningkatkan kinerja mesin.
2. Perlu adanya pengembangan di bagian heater agar sumber uap dari heater lebih optimal untuk menggerakkan piston.
3. Perlu adanya pengembangan di bagian waterjaket krena masih ada kebocoran di bagian waterjaket.
4. Perlu adanya penambahan ring di power piston untuk mencegah kebocoran fluida.
5. Perlu menambahkan diameter atau beban pada flywel guna pengurangan getaran ketika mesin berputar.

DAFTAR PUSTAKA

- Dalimunthe, H, R, Syam, B, Sabri, M, Isranuri, I, M. (2016). Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2016 (ISSN : 0216-7492) Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2016 (ISSN : 0216-7492). Jurnal Dinamis, 4(1), 45–53.
- Dhimas Satria, Rina Lusiani, Erny Listijorini, & Aswata. (2021). Analisa Isolasi Pipa Generator Mesin Stirling Tipe Alpha Sudut Fasa 180°. R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v6i1.1058>
- Effect, T. H. E., Temperature, O. F., On, F., Of, P., Engine, S., & Type, G. (2023). The effect of temperature and flywheel on performance of stirling engine gamma type. 01(01), 7–13.
- Fanani, A. R., Sahbana, M. A., & Suwandono, P. (2021). Pengaruh konduktivitas thermal pada hot cylinder mesin stirling menggunakan energi surya terkonsentrasi. Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 10(2), 248–257. <https://doi.org/10.24127/trb.v10i2.1741>
- Fenoria putri, dwi Arnoldi, D. S. (2013). Kaji Eksperimental Mesin Stirling Tipe β Menggunakan Variasi Bahan Bakar Biomassa. Jurnal Austenit, 5, 47–57.
- HP, O. D. (2012). Uji Unjuk Kerja Mesin Stirling Tipe Gamma.
- Jufrizal, Napitupulu, F. H., Ilmi, Ambarita, H., & Meliala, M. (2022). Ideal Cycle Thermodynamic Analysis For Gamma-Type Stirling Engine. Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET), 14(2), 1–15.
- Jurnal, I. R. A., & Mesin, T. (2022). Uji Kinerja Burner Gas LPG Mesin Stirling dengan Variasi Laju Aliran Udara. 1(2), 5–10.
- Jurnal, I. R. A., Mesin, T., & 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. 1(1), 35–40.

- Jurnal, I. R. A., Mesin, T., Irfansyah, M., Lubis, Z., & Oppusunggu, K. (2022). Proses Pembuatan Mesin Pengiris Buah Pinang Model Pisau Rotari Kapasitas 25 Kg / Jam The Process of Making a Rotary Knife Model Areca Fruit Slicing Machine Capacity 25 Kg / Hour. 1(2), 65–73.
- Jurnal, I. R. A., Mesin, T., & Ramadhan, F. (2022). Uji Kinerja Burner LPG Mesin Stirling dengan Variasi Tekanan Bahan Bakar Stirling Engine LPG Burner Performance Test with Fuel Pressure Variations. 1(2), 1–4.
- Napitupulu, F. H., Ambarita, H., & Irwanto, M. (2023). Integration of a Gamma-Type Stirling Engine with LPG Cooking Stove for Micro-Scale Combined Heat and Power Generation. 2(2), 1–16.
- Rahmalina, D., Lesmana, I. G. E., Suwandi, A., Rahman, R. A., Ramadhan, F. S., & Sugiyanto, K. A. (2021). Pengembangan stirling engine tipe piston bebas Untuk aplikasi Concentrated Solar Power (CSP). Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta, 13(1), 101–108. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/8169/5409>
- Romanelli, A. (2020). Stirling engine operating at low temperature difference. American Journal of Physics, 88(4), 319–324. <https://doi.org/10.1119/10.0000832>
- Siregar, Z. H., Jufriзал, Hasanah, M., & Agusdiandy, M. D. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Sumber Panas Terhadap Temperatur Udara Dalam Heater Mesin Stirling. IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA), 1(1), 11–16.
- Siregar, Z. H., Siregar, M. Z., Maulana, A., Mesin, P. T., Asahan, U., Jend, J., Yani, A., & Utara, S. (2023). Variasi pelumas pada torak displacer terhadap kinerja mesin Stirling. 9(1).
- Thombare, D. G., & Verma, S. K. (2008). Technological development in the Stirling cycle engines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(1), 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.001>
- Zainudin, M. F., Bakar, R. A., Nalupurackal, G., Lokesh, M., Zhu, L., & Xiang,

G. (2020). Manufacturing and testing prototype of a gamma type Stirling engine for micro-CHP application. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012016>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil perhitungan microsoft excel Volume kompres di setiap sudut.

Sudut poros engol	Diameter piston	Volume mati me mati kompvolume	piston dayalume piston pemrlume kompres				
θ	D	Lc	V DC	VSP	V SD	VC	
						mm ³	CC
0	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,56E-05	95,60051
10	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,36E-05	93,63002
20	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,39E-05	93,92709
30	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,54E-05	95,38989
40	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,27E-05	92,65439
50	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,58E-05	95,80469
60	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,33E-05	93,25556
70	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,44E-05	94,36215
80	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,50E-05	95,03517
90	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,28E-05	92,80452
100	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,59E-05	95,89833
110	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,30E-05	92,95089
120	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,48E-05	94,79104
130	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,46E-05	94,62669
140	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,31E-05	93,05524
150	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,59E-05	95,87465
160	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,27E-05	92,73645
170	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,52E-05	95,18318
180	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,42E-05	94,19356
190	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,34E-05	93,38993
200	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,57E-05	95,73559
210	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,26E-05	92,62654
220	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,55E-05	95,51023
230	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,38E-05	93,76611
240	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,38E-05	93,786
250	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,55E-05	95,49162
260	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,26E-05	92,6286
270	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,57E-05	95,74831
280	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,34E-05	93,37381
290	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,42E-05	94,21625
300	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,52E-05	95,16077
310	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,27E-05	92,74265
320	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,59E-05	95,87999
330	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,30E-05	93,04334
340	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,47E-05	94,65064
350	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,48E-05	94,76711
360	0,051	0,045	4,0175	1,225	0,000188517	9,30E-05	92,96136
180					Min	9,26E-05	92,62654
					Max	9,59E-05	95,89833
					Rata-Rata	9,43E-05	94,25008

Lampiran 2 Tabel A-1 *critical-point properties*

884 | Thermodynamics

TABLE A – 1

Molar mass, gas constant, and critical-point properties

Substance	Formula	Molar mass, <i>M</i> kg/kmol	Gas constant, <i>R</i> kJ/kg · K*	<i>Critical-point properties</i>		
				Temperature, K	Pressure, MPa	Volume, m ³ /kmol
Air	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Ammonia	NH ₃	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzene	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromine	Br ₂	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbon tetrachloride	CCl ₄	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Chlorine	Cl ₂	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Chloroform	CHCl ₃	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl ₂ F ₂	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane (R-21)	CHCl ₂ F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C ₂ H ₆	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helium	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexane	C ₆ H ₁₄	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hydrogen (normal)	H ₂	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Krypton	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Methane	CH ₄	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Methyl alcohol	CH ₃ OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Methyl chloride	CH ₃ Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N ₂	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N ₂ O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O ₂	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propane	C ₃ H ₈	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propylene	C ₃ H ₆	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Sulfur dioxide	SO ₂	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroethane (R-134a)	CF ₃ CH ₂ F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Trichlorofluoromethane (R-11)	CCl ₃ F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Water	H ₂ O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

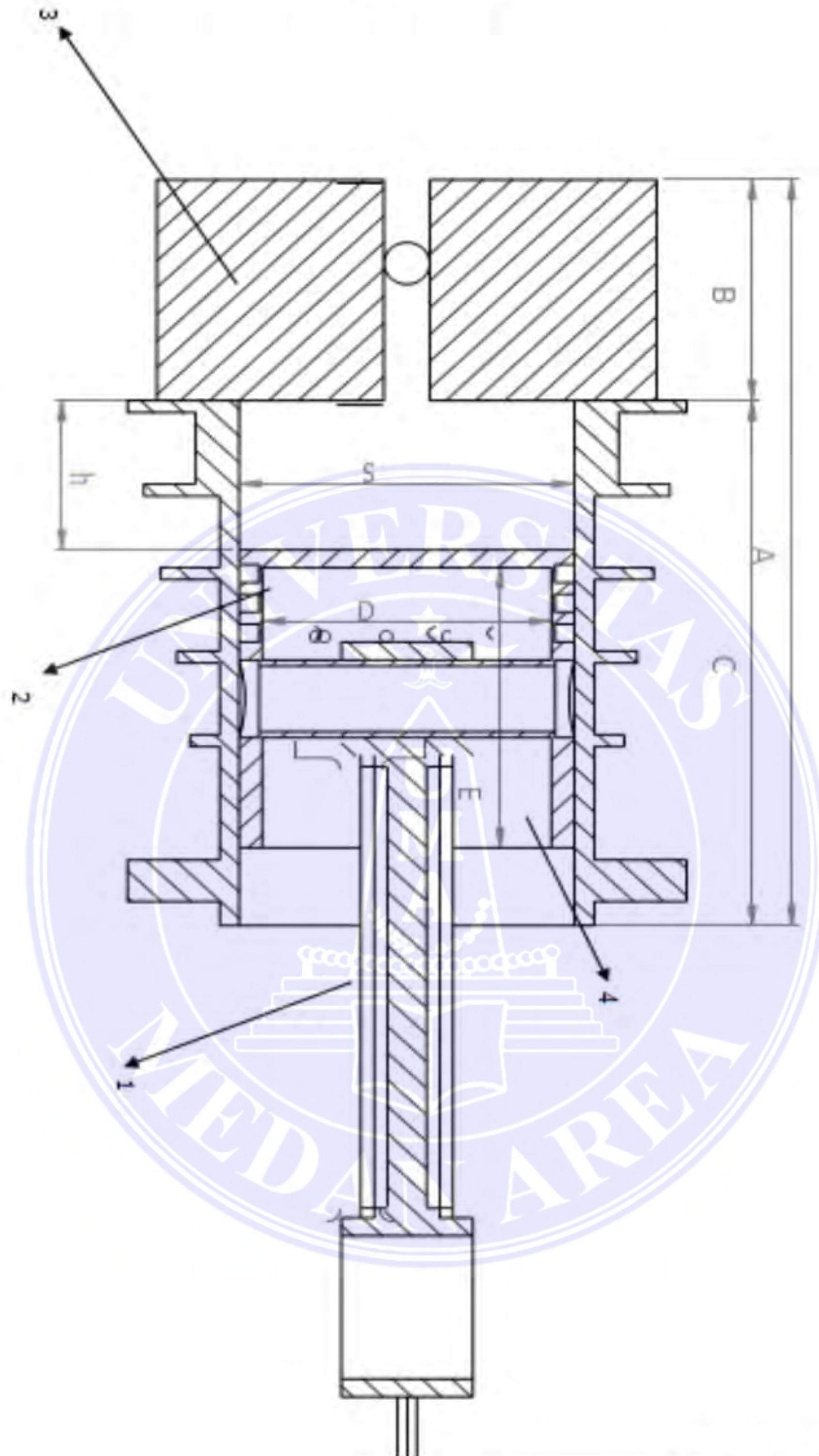
Lampiran 3. Tabel sifat termo fisik tekanan gas di atmosfer

C	P kg / m ²
55	15,755
56,016	
60	19,940

Lampiran 4 Gambar pengambilan data T1 dan T2

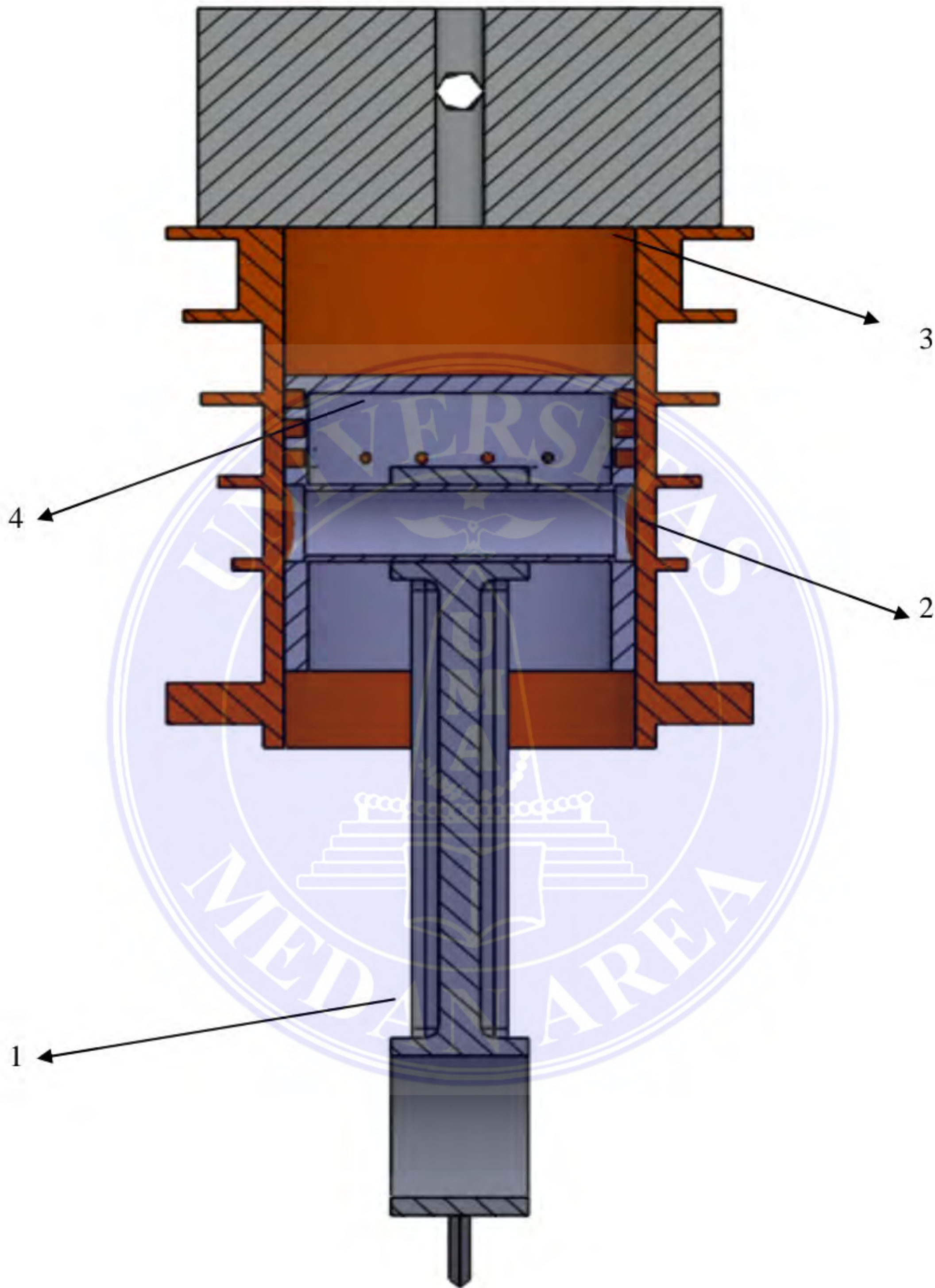


Lampiran 5. Asambling displacer piston & power head.

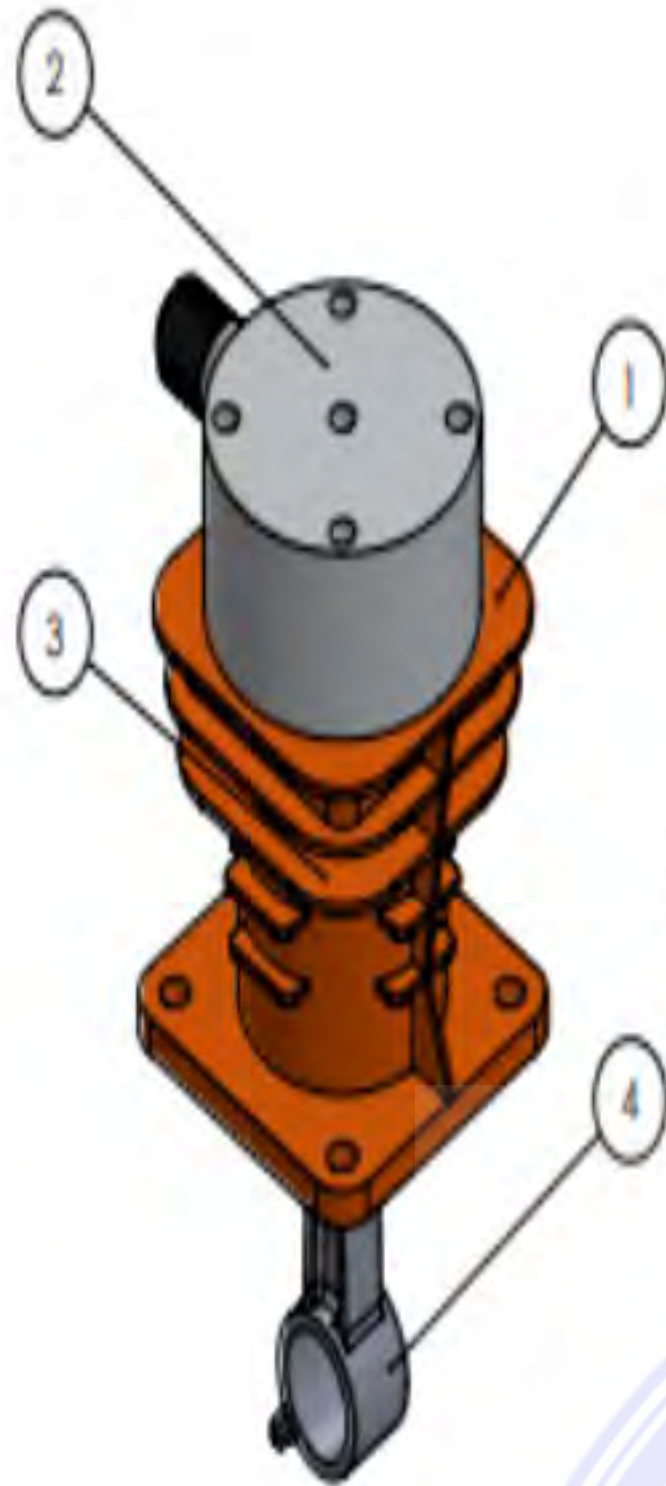


4	As Piston	1	Besi Cor	12,5 cm	1
3	Piston	1	Aluminium	50 cm	2
2	Head Power	1	Besi Cor	37 mm	3
1	Compressor Cyl.Block	1	Besi Cor	88 mm	4
No	Nama	JLH	Bahan	Ukuran	Keterangan
Kekasaran Dalam μm		Jenis Document : acad/dwg		Peringatan :	
		Skala : 1:2		Digambar : Siska Indrawanto	
		Satuan : mm		NPM 198130002	
		Tanggal : 03/08/2023		Dip.1 : Jufriзал S.T.,M.T	
MESIN-FT-UMA		DISPLACER PISTON & POWER HEAD		TA-FT	A3

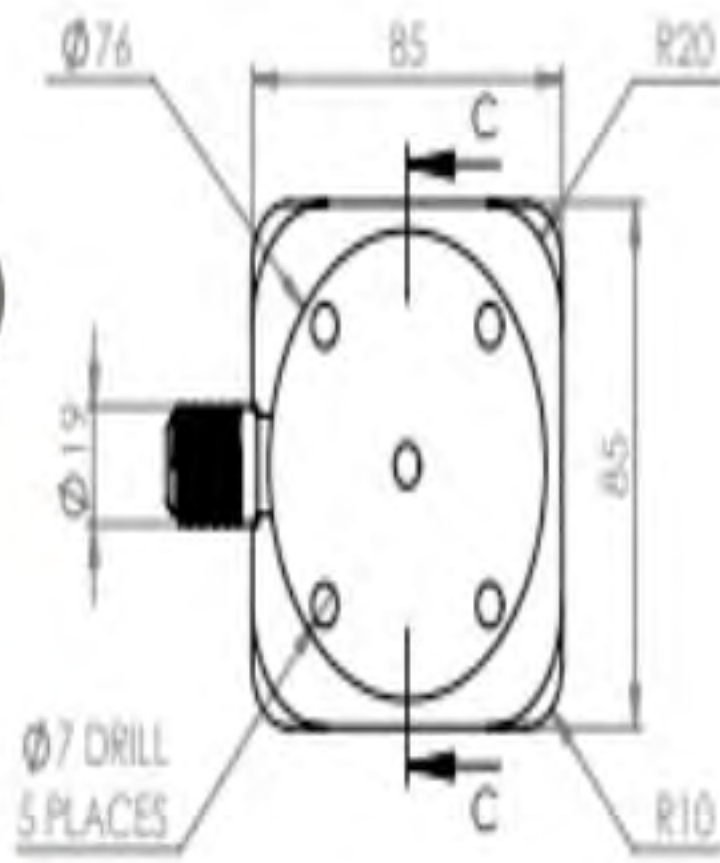
Lampiran 6. Gambar displacer piston & power head.



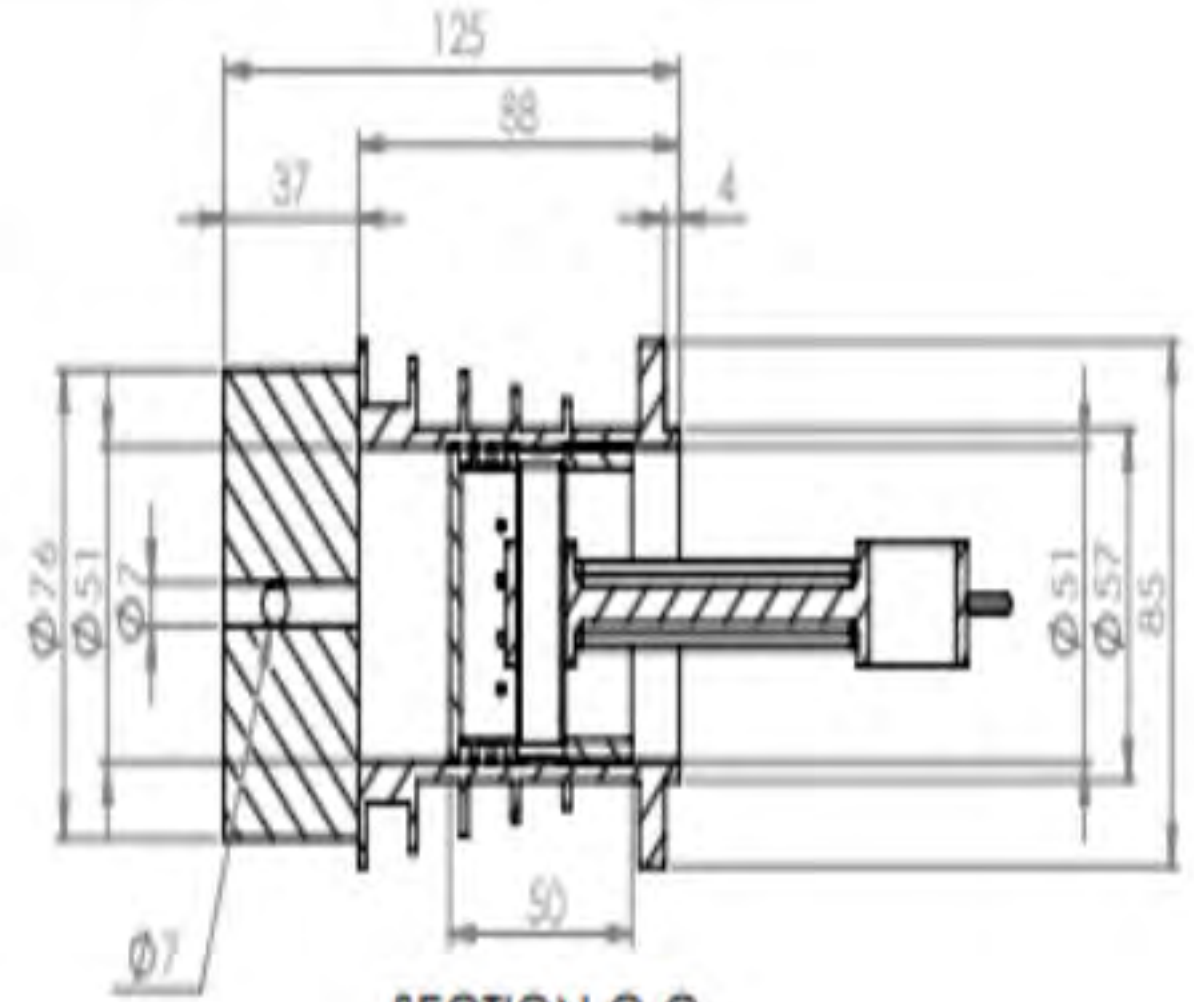
4	As Piston	1	Besi Cor	12,5 cm	1	
3	Piston	1	Aluminium	50 cm	2	
2	Head Power	1	Besi Cor	37 mm	3	
1	Compressor Cyl.Block	1	Besi Cor	88 mm	4	
No	Nama	JLH	Bahan	Ukuran	Keterangan	
Kekasaran Dalam μm			Jenis Document : acad/dwg		Peringatan :	
Skala : 1:2			Digambar : Siska Indrawanto			
Satuan : mm			NPM 198130002			
Tanggal : 03/08/2023			Dip.1 : Jufrizal S.T.,M.T			
MESIN-FT-UMA			DISPLACER PISTON & POWER HEAD		TA-FT	A3



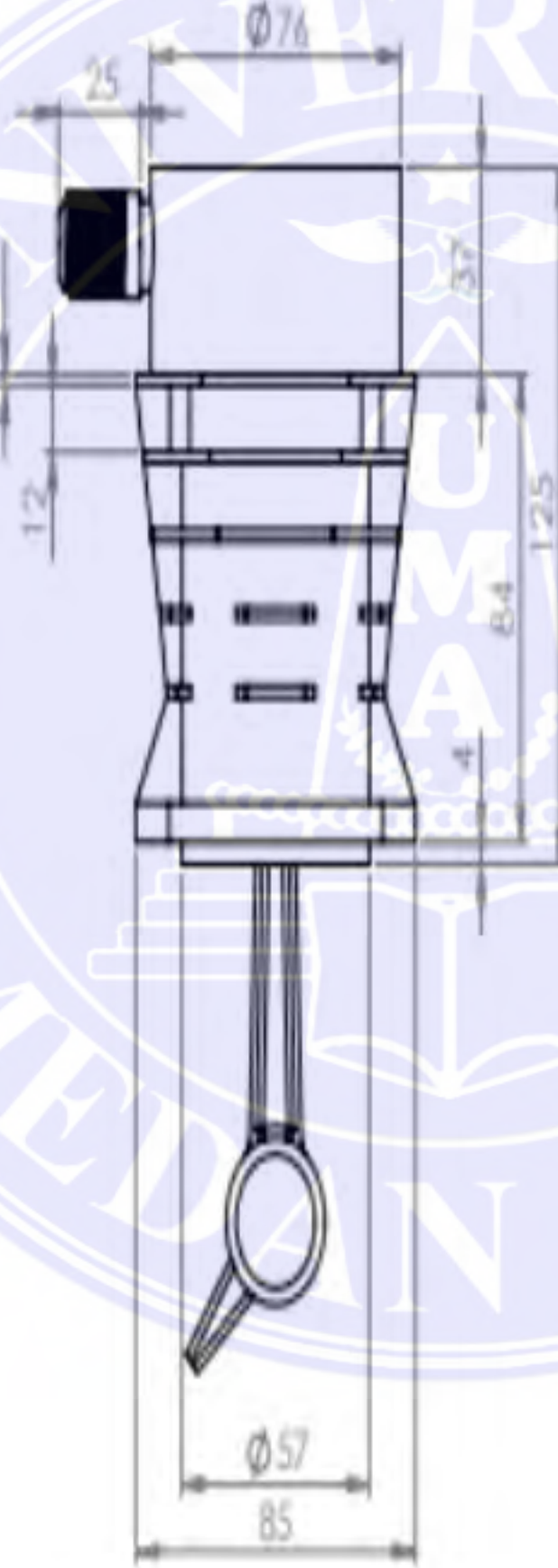
ISOMETRIK DISPLACER PISTON DAN HEAD POWER SKALA 1:2



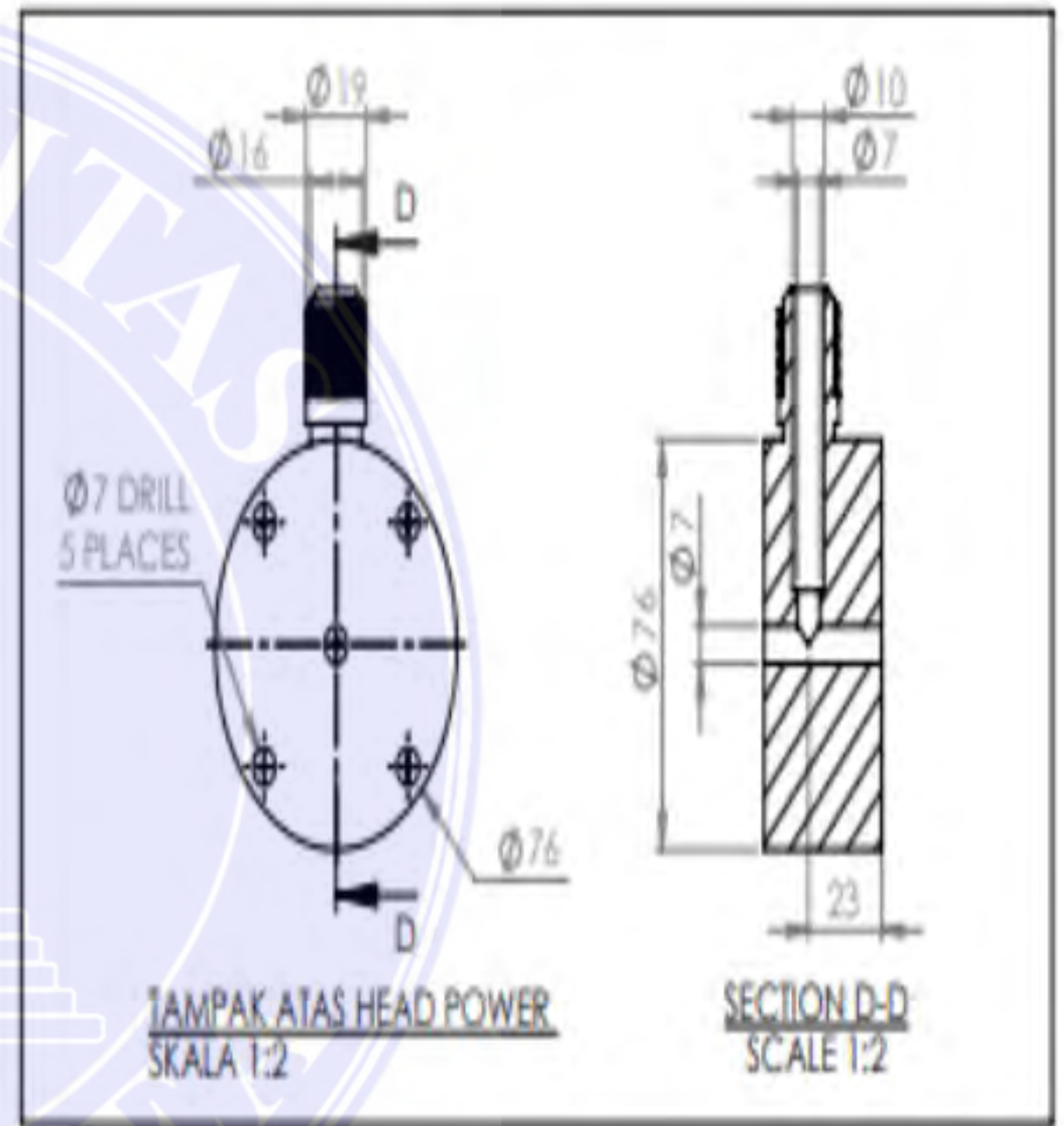
TAMPAK ATAS SKALA 1:2



SECTION C-C SCALE 1:2



TAMPAK DEPAN SKALA 1:2



TAMPAK ATAS HEAD POWER SKALA 1:2

SECTION D-D SCALE 1:2

4	As Piston	1			
3	Piston	1			
2	Head Power	1			
1	Compressor Cyl.Block	1			
No	Nama	JLH	Bahan	Ukuran	Keterangan
Kekasaran Dalam μm		Jenis Document : acad/dwg			Peringatan :
Skala : 1:2		Digambar : Siska Indrawanto			
Satuan : mm		NPM : 198130002			
Tanggal : 03/08/2023		Dip.l : Jufriзал S.T.,M.T			
MESIN-FT-UMA		DISPLACER PISTON & POWER HEAD		TA-FT	A3

