



Proses Manufaktur Piston Displacer untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil

Process of Manufacturing Piston Displacer for Small Scale Gamma Type Stirling Engine

Aldi Kurniawan¹, Jufrizal^{1*}, Nurdiana²

¹Prodi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan, Sumatera Utara, 20223, Indonesia

²Prodi Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, Medan, Sumatera Uara, 20143, Indonesia

*Corresponding author: jufrizal@staff.uma.ac.id

Diterima: 19-01-2025

Disetujui: 24-03-2025

Dipublikasikan: 30-04-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat piston displacer untuk mesin Stirling tipe Gamma menggunakan bahan pipa steam karena karakteristiknya yang tahan panas. Proses manufaktur dilakukan melalui pemotongan, pembubutan dengan mesin bubut konvensional, serta pengelasan TIG. Hasil manufaktur menunjukkan dimensi akhir piston sebesar diameter 65,75 mm, tinggi 60,20 mm, dan panjang total 321,20 mm. Hasil pengukuran menunjukkan toleransi dimensi dalam batas yang sesuai dengan desain, dan tidak ditemukan kebocoran pada sambungan setelah uji visual dan uji fungsional dasar. Studi ini menunjukkan bahwa proses sederhana dapat menghasilkan piston yang layak untuk aplikasi skala laboratorium.

Kata Kunci: Piston displacer, mesin Stirling, manufaktur, pembubutan, material tahan panas.

Abstract

This study aims to design and manufacture a displacer piston for a Gamma-type Stirling engine using steam pipe material due to its heat-resistant properties. The manufacturing process involved cutting, turning with a conventional lathe, and TIG welding. The final product dimensions were 65.75 mm in diameter, 60.20 mm in height, and 321.20 mm. Measurement results showed that the dimensional tolerances were within the design limits, and no leakage was found in the joints after visual inspection and basic functional testing. The study demonstrates that a simple process can produce a piston suitable for laboratory-scale applications.

Keywords: Displacer piston, Stirling engine, manufacturing, turning, heat-resistant material.

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi panas dari bahan bakar gas masih belum optimal, padahal energi ini berpotensi dikonversi menjadi bentuk energi lain secara efisien. Mesin Stirling menawarkan solusi alternatif sebagai teknologi ramah lingkungan dengan efisiensi termal tinggi dan emisi rendah. Mesin ini bekerja berdasarkan prinsip pemuain dan penyusutan gas kerja akibat perbedaan suhu antara dua ruang.

Mesin Stirling merupakan mesin kalor siklus tertutup yang bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas antara dua reservoir suhu melalui media gas kerja. Mesin ini dikenal

memiliki efisiensi termal tinggi dan emisi rendah, sehingga menjadi salah satu alternatif yang menarik dalam pengembangan energi ramah lingkungan. Salah satu komponen vital dalam sistem kerja mesin Stirling adalah piston displacer, yaitu elemen yang bertugas memindahkan gas kerja antara ruang panas dan ruang dingin, sehingga memungkinkan terjadinya proses ekspansi dan kompresi secara langsung. Mesin Stirling merupakan teknologi lama yang dikembangkan kembali pada zaman ini. Teknologi ini kembali dikembangkan karena dibutuhkannya teknologi yang ramah lingkungan, sumber energi fleksibel, dan efisien tinggi. Mesin ini bekerja dengan memanfaatkan sifat gas yang dipanaskan akan memuai kemudian saat didinginkan gas akan menyusut volumenya, mesin seperti ini harus memiliki teknologi material dan manufaktur yang tinggi (Zakaria, Priadythama, & Budiyanto, 2013).

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 (Jufriзал et al. 2020). Diikuti dengan generasi berikutnya pada tahun 2019 dengan nama mCHPSE-012019 dan mCHPSE-012020 (Mawardi, Jufriзал, & Hdayah, 2022)(Jufriзал et al. 2023). Mesin Stirling gamma merupakan tipe *displacement* (regeneratif), tipe gamma, menggunakan regenerator yang akan mendorong udara antara sisi panas dan dingin (Widodo, 2013).

Salah satu komponen penting dalam mesin Stirling adalah piston displacer, yang berperan memindahkan fluida kerja antara ruang panas dan ruang dingin. Kinerja piston displacer sangat memengaruhi efisiensi termal dan mekanik mesin. Oleh karena itu, komponen ini harus memenuhi spesifikasi ketat seperti bobot ringan, presisi tinggi, ketahanan terhadap suhu dan gesekan, serta kemampuan bergerak bebas dengan kebocoran minimal. Selain itu, menurut beberapa penelitian, penggunaan material pipa steam pada proses pembuatan piston displacer juga dapat meningkatkan daya ketahanan pada komponen dalam kondisi operasi yang keras, selain itu pipa steam juga mampu di percaya untuk melakukan kinerja yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur sumber panas terhadap temperatur udara di dalam displacer, selain itu, penelitian ini juga mengidentifikasi material terbaik untuk manufaktur piston displacer berbasis pipa steam. Material tersebut harus mampu menahan suhu tinggi, dapat mengurangi resiko pemuaihan komponen terhadap piston displacer, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembang teknologi energi terbarukan yang lebih efisien, ekonomis dan ramah lingkungan.

Namun, publikasi yang membahas desain dan proses manufaktur piston displacer untuk mesin Stirling skala laboratorium masih terbatas. Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan fokus pada penggunaan material pipa steam dan proses manufaktur sederhana untuk menghasilkan piston yang andal dan ekonomis.

2. Metode

Metode penelitian untuk pembuatan piston displacer untuk mesin Stirling tipe Gamma skala laboratorium berbasis pipa steam sebagai material displacer dapat diuraikan dalam beberapa tahapan utama sesuai dengan gambar yang ditunjukkan. Setiap tahapan dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Desain piston displacer

Tahapan awal adalah pembuatan desain piston displacer menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*). Tahapan ini untuk menghasilkan desain piston yang sesuai

dengan spesifikasi mesin Stirling tipe Gamma, termasuk dimensi bentuk dan konfigurasi pipa steam.

Langkah-langkah:

1. Menentukan parameter desain berdasarkan kebutuhan terhadap mesin Stirling, seperti jarak antara dinding blok displacer terhadap piston displacer.
2. Membuat gambar teknik yang mencakup detail dimensi, toleransi dan material yang akan digunakan.

2. Cutting plat penutup piston displacer

Proses ini melibatkan pemotongan plat logam untuk membuat penutup piston. Tahap ini membuat plat dengan dimensi dan bentuk yang sesuai untuk menutup bagian atas dan bawah piston.

Langkah langkah:

1. Menggunakan alat pemotong seperti plasma cutter atau gergaji logam untuk memotong plat sesuai desain.
2. Memastikan ketepatan ukuran dan kebersihan hasil potongan untuk memudahkan proses penyambungan berikutnya.

3. Pemilihan dan persiapan bahan pipa steam

Tahapan ini mencakup pemilihan material pipa steam dan persiapannya untuk proses manufaktur. Tahap ini memastikan material pipa steam yang digunakan memiliki sifat mekanis dan termal yang sesuai.

Langkah langkah:

1. Memilih pipa steam berbahan baja tahan panas.
2. Membersihkan permukaan pipa dari kotoran atau minyak yang dapat mengganggu proses manufaktur.
3. Memotong pipa sesuai panjang yang ditentukan dalam desain.

4. Pembubutan

Proses pembubutan dilakukan untuk memastikan dimensi pada pipa dan plat sesuai spesifikasi desain. Tahapan ini membentuk pipa steam agar sesuai dengan jarak toleransi dan dimensi yang ditentukan.

Langkah langkah:

1. Menggunakan mesin bubut untuk meratakan ujung pipa dan memperkecil diameter pipa.
2. Memastikan kehalusan dan kerapian permukaan hasil bubutan.

5. Pengelasan

Tahap ini melibatkan pengelasan komponen-komponen piston, termasuk pipa steam dan plat penutup. Tahapan ini menggabungkan semua komponen piston menjadi satu kesatuan yang kokoh dan tahan terhadap tekanan serta suhu yang tinggi.

Langkah-langkah:

1. Menggunakan teknik pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) atau MIG (*Metal Inert Gas*) untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama.
2. Memastikan bahwa proses pengelasan dilakukan dengan presisi tinggi untuk mencegah kebocoran.
3. Melakukan inspeksi visual dan uji kekuatan sambungan untuk memastikan kualitas pengelasan.

6. Hasil proses manufaktur

Tahapan akhir adalah pemeriksaan hasil manufaktur piston. Tahapan ini memastikan bahwa piston yang diproduksi memenuhi spesifikasi desain dan siap digunakan pada mesin Stirling.

Langkah-langkah:

1. Melakukan uji fungsional untuk memverifikasi performa piston, seperti uji tahan panas.
2. Membersihkan piston dari sisa proses manufaktur, seperti serpihan logam atau residu pengelasan.
3. Dokumentasi hasil manufaktur, termasuk pencatatan dimensi akhir dan hasil pengukuran.

7. Pengujian prototipe

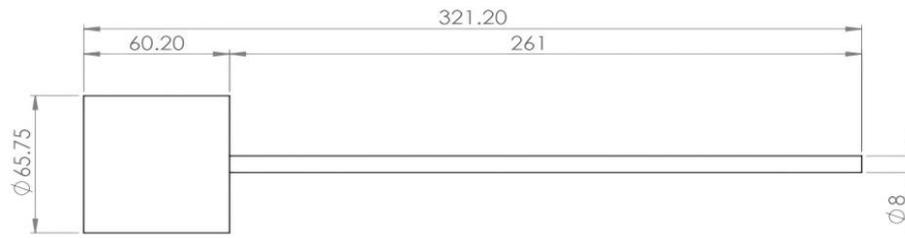
Setelah piston selesai dibuat, prototipe dipasang pada mesin Stirling tipe Gamma untuk dilakukan pengujian. Variasi temperatur sumber panas digunakan untuk efisiensi termal. Data yang dikumpulkan meliputi temperatur fluida benda kerja dan efisiensi sistem. Data dianalisis untuk mengevaluasi kinerja piston dan memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi desain. Metode ini memastikan bahwa piston displacer yang dihasilkan memiliki kualitas dan performa yang sesuai untuk mendukung operasi mesin Stirling tipe Gamma skala laboratorium. Jika diperlukan modifikasi desain dapat dilakukan berdasarkan hasil pengujian untuk meningkatkan daya kinerja mesin.

3. Hasil dan Pembahasan

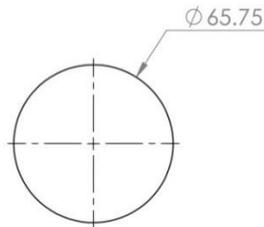
Hasil dalam penelitian ini mencakup beberapa langkah penting, dimulai dari desain piston displacer (Gambar 1) yang dirancang untuk mendukung kinerja mesin Stirling tipe Gamma skala laboratorium. Selanjutnya, bahan utama yang dipilih untuk pembuatan piston adalah pipa steam, yang dipilih karena memiliki sifat termal dan mekanis yang sesuai untuk mendukung efisiensi dan daya tahan kerja mesin, perhitungan ukuran piston dilakukan secara cepat untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi desain, dengan hasil yang dirangkum dalam Tabel 1. Selain itu, tahapan proses manufaktur piston displacer, mulai dari persiapan bahan hingga hasil akhir, dijelaskan secara rinci dan divisualisasikan pada Gambar 2. Penelitian ini tidak hanya memberikan paduan teknik, tetapi juga menawarkan wawasan tentang proses produksi piston displacer yang efisien dan berkualitas tinggi.

Proses dimulai dengan pembuatan desain piston displacer Gambar 1 tahap 1 menggunakan perangkat lunak CAD. Gambar teknik yang menghasilkan dan mencakup dimensi detail, seperti diameter, tinggi dan panjang piston displacer. Desain ini menjadi pedoman utama dalam seluruh proses manufaktur untuk memastikan piston yang dihasilkan memiliki ukuran dan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan mesin Stirling tipe Gamma. Piston harus mampu menahan tekanan, gesekan dan temperatur ekstrem yang terjadi selama beroperasi. Desain ini mencakup analisis material dan struktur untuk memastikan keamanan dan efisiensi.

Bahan utama yang digunakan untuk piston displacer adalah pipa steam. Gambar 2 tahap 2 menunjukkan pipa yang dipilih berdasarkan spesifikasi seperti diameter, ketebalan dan jenis material. Bahan pipa memiliki kualitas yang sesuai untuk digunakan untuk mesin Stirling. Pipa harus mampu menahan tekanan tinggi dan konduksi. Material pipa biasanya berbasis logam dengan sifat termal yang baik, seperti baja tahan karat atau paduan logam lainnya. Pemilihan bahan juga mempertimbangkan ketahanan terhadap pemuaian akibat suhu tinggi dan lingkungan operasi.



TAMPAK SAMPING KANAN

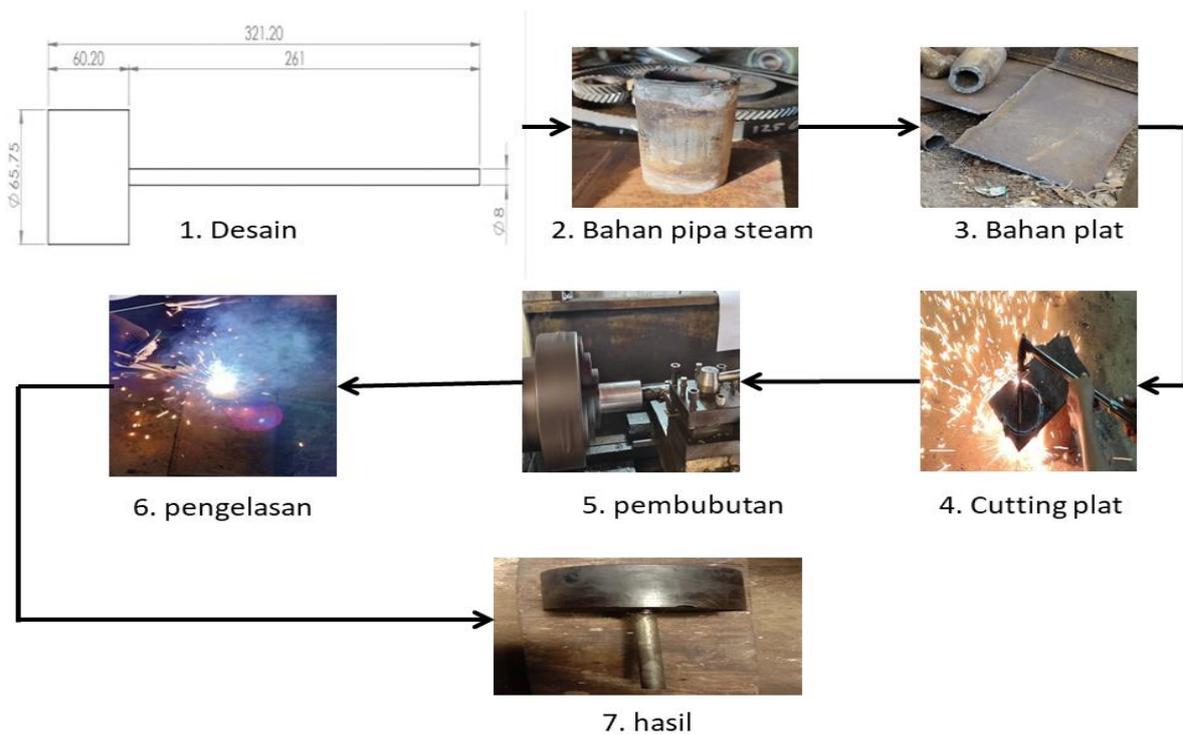


TAMPAK DEPAN

Gambar 1. Desain dan ukuran piston displacer

Tabel 1. Dimensi dan spesifikasi piston displacer

Parameter	Dimensi
Diameter piston	65,75 mm
Tinggi piston	60,20 mm
Panjang piston dan stang seher	321,20 mm
Panjang stang seher	261 mm
Diameter stang seher	8 mm



Gambar 2. Proses manufaktur piston displacer

Bahan utama yang digunakan untuk piston displacer adalah pipa steam. Gambar 2 tahap 2 menunjukkan pipa yang dipilih berdasarkan spesifikasi seperti diameter, ketebalan dan jenis material. Bahan pipa memiliki kualitas yang sesuai untuk digunakan untuk mesin Stirling. Pipa harus mampu menahan tekanan tinggi dan konduksi. Material pipa biasanya berbasis logam dengan sifat termal yang baik, seperti baja tahan karat atau paduan logam lainnya. Pemilihan bahan juga mempertimbangkan ketahanan terhadap pemuaian akibat suhu tinggi dan lingkungan operasi.

Pada tahap cutting plat penutup piston Gambar 2 tahap 4, plat dipotong menggunakan alat pemotong plasma atau gas untuk membentuk bagian penutup piston. Proses cutting ini menghasilkan percikan api yang terlihat pada gambar, penggunaan alat berenergi tinggi. Membuat potongan logam sesuai dengan dimensi yang telah dirancang di tahap desain. Presisi dalam pemotongan sangat penting untuk memastikan kesesuaian saat perakitan. Operator memastikan bahwa ketebalan dan bentuk potongan yang sesuai dengan toleransi desain.

Proses pembubutan Gambar 2 tahap 5 dilakukan untuk membentuk pipa steam dan komponen lainnya agar sesuai dengan dimensi desain. Mesin bubut digunakan untuk mengkilis dan memperhalus permukaan. Bubut yang digunakan memiliki akurasi tinggi, sering kali dikendalikan secara otomatis (CNC). Operator memeriksa hasil pembubutan menggunakan alat ukur seperti vernier kaliper atau mikrometer untuk memastikan akurasi.

Setelah semua komponen terbentuk, tahapan pengelasan Gambar 2 tahap ke-6 dilakukan untuk menyatukan bagian-bagian piston. Gambar menunjukkan proses pengelasan yang melibatkan percikan api dan operator menggunakan alat pelindung. Membuat sambungan yang kuat dan tahan terhadap tekanan serta suhu yang tinggi. Pengelasan harus memastikan tidak ada celah kebocoran yang dapat mempengaruhi performa piston. Teknik pengelasan biasanya yang digunakan adalah TIG untuk hasil yang lebih bersih dan presisi.

Gambar terakhir Gambar 2 tahap ke-7 menunjukkan piston displacer yang telah selesai diproduksi. Komponen ini telah melalui semua tahapan manufaktur, termasuk desain, pemotongan, pembubutan dan pengelasan. Produk akhir siap uji dan dipasang pada mesin Stirling tipe Gamma skala laboratorium. Piston ini diharapkan dapat mendukung operasi mesin dengan efisiensi termal yang tinggi. Piston biasanya diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk memastikan tidak ada kebocoran dan dapat beroperasi pada suhu tinggi.

Piston displacer yang dihasilkan memiliki dimensi akhir sebagai berikut: diameter 65,75 mm, tinggi 60,20 mm, dan panjang total 321,20 mm. Pengukuran menggunakan kaliper digital menunjukkan hasil sesuai desain, dengan deviasi <1%. Foto hasil akhir piston setelah semua tahap manufaktur ditunjukkan pada Gambar 2. Evaluasi visual tidak menemukan cacat seperti retakan atau sambungan tidak rata. Pemasangan piston pada silinder menunjukkan gerak bebas dan tidak terjadi kebocoran. Keunggulan material pipa steam meliputi ketahanan terhadap temperatur tinggi, kekuatan struktural yang baik, serta ketersediaan di pasaran. Namun, kekurangannya adalah bobot relatif lebih tinggi dibanding bahan seperti aluminium cor, yang dapat memengaruhi efisiensi dinamis piston.

4. Kesimpulan

Piston displacer berhasil diproduksi dengan metode sederhana menggunakan material pipa steam dan proses manufaktur dasar. Dimensi aktual sesuai dengan desain dan komponen berfungsi baik pada pengujian awal. Namun, diperlukan pengujian lanjutan terhadap keausan dan kompatibilitas termal dalam siklus kerja mesin Stirling. Pengembangan selanjutnya

disarankan melibatkan penggunaan material seperti aluminium cor untuk mengurangi bobot, serta penerapan proses CNC guna meningkatkan presisi dan efisiensi manufaktur.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Jufrizal, ST., MT sebagai dosen pembimbing dan Tim Peneliti mCHPSE yang telah membantu dalam proses merakit dan menguji mesin Stirling untuk penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh kawan-kawan yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan proyek ini, khususnya Eprian Kurniawan, Indra Prasetio dan Bapak Edi dari Perbengkelan Bubut Tigayasa.

Daftar Pustaka

- Jufrizal, Z H Siregar, T J Saktisah, B K Putra, and M.N R Syahputra. "Uji Kinerja Burner Gas LPG Mesin Stirling dengan Variasi Laju Aliran Udara." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya(IRAJTMA)*, 2022: 5-10.
- Jufrizal, F H Napitulu, Ilmi Himsar Ambarita, and Mahadi Meliala. "Thermodynamic Analysis of a Gamma-Type Stirling Engine for m-CHP Application." In *Proceeding of the 7th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM 2021)*, by Ibrahim A, 225–229. Melaka: Springer Nature Singapore, 2022b.
- Jufrizal, Farel H Napitulu, Ilmi, Himsar Ambarita, and Mahadi Meliala. "Ideal Cycle Thermodynamic Analysis for Gamma-Type Stirling Engine." *Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)*, 2022a: 11–26.
- Jufrizal, Farel Hasiholan Napitupulu, Ilmi, Himsar Ambarita, Supriatno, and Muhammad Irwanto. 2023. "Integration of a Gamma-Type Stirling Engine with LPG Cooking Stove for Micro-Scale Combined Heat and Power Generation." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 108 (2): 1–16. <https://doi.org/10.37934/arfmts.108.2.116>.
- Kurniawan, Eprian, Jufrizal, and Nurdiana. "Manufaktur Heater Menggunakan Bahan Pipa Steam untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya(IRAJTMA)*, 2024: 23-30.
- Lubis, Rahmadsyah, Jufrizal, Supriatno, and Nurdiana. "Analisis Efisiensi Thermal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Burner Kompor SNI Sebagai Dasar Acuan Perencanaan Burner Mesin Stirling." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya(IRAJTMA)*, 2024: 1-7.
- Mawardi, Jufrizal, and M Hdayah. "Uji Kinerja Burner LPG Mesin Stirling Dengan Variasi Konsumsi Bahan Bakar." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 2022.
- Prasetio, Indra, Jufrizal, and Supriatno. "Pengujian Kinerja Cooling Water untuk Mesin Stirling tipe Gamma Skala Kecil." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya(IRAJTMA)* Vol. 3 (2024): 10-16.
- Widodo. "Studi Eksperimen Output Daya Pada Motor Stirling TD 295 Tipe Gamma Dengan Menggunakan Stirling Engine Control." *polibatam*, 2013: 1-7.
- Zakaria, Roni, Ilham Priadythama, and Nugroho Eka Budiyanto. "Rancangan Mesin Stirling Memanfaatkan Komponen Mesin Lain Yang Ada Di Pasaran Indonesia Sebagai Pembangkit Listrik." *Performa*, 2013: 51-56.