

## REKAYASA MESIN *STIRLING* UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Riyadi Prabowo Moecty<sup>1)</sup>, Galih Adityawan<sup>2)</sup>,  
dan Aziz Nurfadillah Artha<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Teknik Mesin FT Universitas Negeri Yogyakarta  
Email: riyadiprabowom@yahoo.co.id

<sup>2)</sup> Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin FT Universitas Negeri Yogyakarta

<sup>3)</sup> Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin FT Universitas Negeri Yogyakarta

### Abstrak

Riset ini merekayasa mesin *stirling* untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit listrik tenaga surya (matahari) bertujuan untuk: (1) Menghasilkan desain mesin *stirling* (2) Memanufaktur mesin *stirling* sesuai dengan desain, (3) Merakit mesin *stirling* hasil proses manufaktur ke generator listrik yang akan mengubah energi gerak menjadi energi listrik, (4) Menguji performa mesin dan energi listrik yang dihasilkan dalam satuan watt (W). Semua tujuan tersebut untuk menghasilkan desain dan produk yang akan membangkitkan energi listrik dengan sumber yang terbarukan. Metode riset ini menggunakan konsep perancangan dengan beberapa tahapan, antara lain kebutuhan, definisi proyek, proyek dan penyusunan spesifikasi teknis produk, perencanaan konsep produk, perancangan produk, hingga dokumen untuk pembuatan produk. Proses selanjutnya yaitu menganalisis kebutuhan, memperhatikan pertimbangan perencanaan, dan memperhatikan pula tuntutan perencanaan. Hasil mesin *stirling* yang telah dibuat manufakturnya sudah sesuai yang diharapkan. Akan tetapi ada beberapa kendala yang menyebabkan kurang maksimalnya kinerja mesin tersebut diantaranya yaitu piston terlalu sesak sehingga mengakibatkan *fly wheel* susah berputar. Hal ini dikarenakan diameter piston dengan diameter silinder toleransinya terlalu kecil. Selain itu pemilihan bahan untuk silinder yang kurang sesuai dapat mengakibatkan piston sesak. Kendala yang kedua yaitu plat yang dipakai untuk stang piston terlalu tipis sehingga pada saat kompresi berlangsung stang piston kocak dan mengakibatkan pergerakan piston dari TMA ke TMB ataupun dari TMB ke TMA tidak stabil.

*Kata kunci: Mesin stirling, generator, energi listrik*

## ENGINEERING OF STIRLING ENGINE FOR SOLAR POWER PLANT GENERATOR

### Abstract

The objectives of the research are (1) developing the design of stirling engine, (2) manufacturing the stirling engine based on the design, (3) assembling the stirling engine to the electric generator to convert the moving energy into the electric energy, (4) testing the performance of the engine and the electricity produced in watt (W). In short, the research is aimed at developing a new product and design to generate the electric energy by using a renewable source. The research method employed the designing concept consisting of some stages, namely need, project definition, project, and formulation of technical specification of the product, plan of the concept of the product, product design, and documents for developing the product. The next process is conducting the needs analysis, considering the plan, and its demand. The result is that the stirling engine was developed as expected. However, there were some obstacles that led the engine not to work maximally. One of them is that the piston was too congested that it was difficult for the fly wheel to spin. It is due to the tolerance of the diameter of the piston and that of the cylinder. Besides, the material of the cylinder was not suitable so the piston was congested. The second obstacle is the plate used as the handlebar of the piston was too thin; consequently, when the compression takes occurred, the handlebar moved and caused the movement of the piston from TMA to TMB or from TMB to TMA unstable.

*Keywords: stirling engine, generator, electricity energy*

### PENDAHULUAN

Teknologi yang semakin maju dan penggunaannya yang semakin luas diberbagai kalangan masyarakat membuat kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Karena sebagian besar teknologi menggunakan energi listrik, salah satu teknologi yang banyak membutuhkan energi listrik di era modern adalah mesin. Mesin merupakan alat untuk mempermudah pekerjaan manusia. Mesin memerlukan energi

untuk menggerakkannya yaitu energi listrik untuk dikonversi menjadi sebuah gerak mekanis. Menurut (Data Statistik, 2013) total kapasitas terpasang dan jumlah unit pembangkit PLN (Holding dan Anak Perusahaan) mencapai 34.206 MW dan 4.925 unit, dengan 26.768 MW (78,26%) berada di Jawa. Total kapasitas terpasang meningkat 3,96% dibandingkan dengan akhir Desember 2012. Persentase kapasitas terpasang per jenis pembangkit sebagai berikut:

PLTU 15.554 MW (45,47%), PLTGU 8.814 MW (25,77%), PLTD 2.848 MW (8,33%), PLTA 3.520 MW (10,29%), PLTG 2.894 MW (8,46%), PLTP 568 MW (1,67%), PLT Surya dan PLT Bayu 8,37 MW (0,02%).

Selama tahun 2013, jumlah energi listrik produksi sendiri (termasuk sewa) sebesar 163.966 GWh, meningkat 9,49% dibandingkan tahun sebelumnya. Dari jumlah tersebut, 56,09% diproduksi oleh PLN Holding, dan 43,91% diproduksi Anak Perusahaan yaitu PT. Indonesia Power, PT. PJB, PT. PLN Batam dan PT. PLN Tarakan. Persentase energi listrik produksi sendiri per jenis energi primer adalah: gas alam 41.254 GWh (28,61%), batubara 74.269 GWh (51,50%), minyak 11.307 GWh (7,84%), tenaga air 13.010 GWh (9,02%), dan 4.345 GWh (3,01%) berasal dari panas bumi. Dibandingkan tahun sebelumnya, pangsa pasar gas alam, batubara, air dan panas bumi mengalami peningkatan, sedangkan minyak mengalami penurunan. Produksi total PLN (termasuk pembelian dari luar PLN) pada tahun 2013 sebesar 216.189 GWh, mengalami peningkatan sebesar 15.871 GWh atau 7,92% dari tahun sebelumnya. Dari produksi total PLN tersebut, energi listrik yang dibeli dari luar PLN sebesar 52.223 GWh (24,16%). Pembelian energi listrik tersebut meningkat 1.661 GWh atau 3,28% dibandingkan tahun 2012. Dari total energi listrik yang dibeli, pembelian terbesar sebanyak 8.203 GWh (15,71%) berasal dari PT. Paiton Energy Company, dan 8.062 GWh (15,44%) berasal dari PT.

Jawa Power (Statistik PLN, 2013).

Selama tahun 2013, susut energi sebesar 9,91%, terdiri dari susut transmisi 2,33% dan susut distribusi 7,77%. Susut energi tahun 2013 lebih besar dibandingkan tahun 2012 yaitu sebesar 9,21%. Dengan pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga dari 46.219.780 pelanggan pada akhir tahun 2012 menjadi 50.116.127 pelanggan pada akhir tahun 2013, maka rasio elektrifikasi menjadi sebesar 78,06% (Data Statistik PLN, 2013).

Jika dilihat dari jumlah pengguna listrik yang semakin meningkat, sedangkan jumlah produksi yang dihasilkan PLN, anak perusahaan dan luar perusahaan PLN masih belum mencukupi. Disebabkan sumber daya alam yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik cadangannya semakin menipis seperti gas alam, batu bara dan minyak bumi sebagai pembangkitnya.

Rekayasa ini bertujuan menghasilkan desain mesin *Stirling* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Mesin ini dibuat karena dapat mengubah energi panas matahari yang ketersediaannya melimpah di alam menjadi energi gerak putar untuk menggerakkan generator dan mengkonversinya menjadi menjadi energi listrik. Alat ini diharapkan dapat menghasilkan energi listrik dengan daya yang lebih besar dari pembangkit listrik tenaga surya yang menggunakan panel surya (*solar cell*) dengan estimasi harga yang lebih murah.

## KAJIAN TEORI

### Sumber Energi

Menurut Sukmana, R.W., (2011:2) Energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja. Energi diperlukan bagi segala sesuatu untuk bergerak. Energi diukur dalam satuan *joule* (J) ketika kerja selesai atau energi telah digunakan selama waktu tertentu disebut tenaga. Tenaga diukur dalam *watt* (W) merupakan penggunaan satu *joule* energi dalam satu detik. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi energi dapat berubah dari satu bentuk menuju bentuk lain.

Manusia telah membakar bahan bakar fosil yang terbentuk jutaan tahun yang lalu. Diperlukan jutaan tahun lagi untuk membentuk bahan bakar fosil tersebut. Sumber energi dari bahan bakar fosil disebut energi yang tak terbarukan. Hal ini mendorong pemimpin dunia menghimbau untuk melakukan penghematan serta mencari sumber energi alternatif yang berasal dari sumber yang terbarukan.

Energi matahari merupakan sumber energi alternatif yang cukup banyak tersedia di alam. Misalnya energi matahari di musim kemarau sangat melimpah energi panasnya. Energi matahari mensuplai 10% hingga 15% dari energi yang kita butuhkan. Cara memperoleh energi listrik dari matahari salah satunya dengan cara pasif atau *solar cell*. Selebihnya hanya untuk pemanas air,

ruang dan menjemur.

Energi yang dapat diperbarui lainnya yang dihasilkan dengan teknologi tepat guna serta relatif lebih sederhana dan sesuai untuk daerah pedesaan adalah energi biogas. Biogas menggunakan gas metan yang dikeluarkan selama pembusukan bahan-bahan secara anaerobik, misalnya ditempat pembuangan sampah atau dari kotoran ternak.

### Mesin Pembakaran Luar

Mesin pembakaran luar atau sering disebut juga sebagai *eksternal combustion engine* (ECE), yaitu dimana proses pembakarannya terjadi di luar mesin. Hal-hal yang dimiliki pada mesin pembakaran luar yaitu: a) dapat memakai semua bentuk bahan bakar, b) dapat memakai bahan bakar yang bermutu rendah, c) cocok untuk melayani beban-beban besar dalam satu poros, dan d) lebih cocok dipakai untuk daya tinggi. Contoh mesin pembakaran luar misalnya pesawat tenaga uap, pelaksanaan pembakaran dilakukan di luar mesin. Mesin pembakaran luar adalah proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar motor itu, sehingga untuk melaksanakan pembakaran motor tersendiri. Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga gerak, tetapi terlebih dulu melalui media penghantar, baru kemudian diubah menjadi tenaga mekanik. Di dalam motor pembakaran luar bahan bakarnya dibakar di ruang pembakaran tersendiri (Daryanto, 1980: 86).

### Mesin *Stirling*

Menurut Daryanto (1980: 265) Mesin *stirling* membuat putaran yang baik tanpa getaran, mempunyai efisiensi lebih tinggi dan gas buangnya sangat bersih. Prinsip dasar mesin ini adalah mendapat tekanan dengan pengembangan gas apabila mendapat pendinginan. Pada mesin *stirling* tekanan yang bervariasi dibangkitkan oleh torak pemindah yang berganti-ganti bekerja antara bagian silinder yang dingin.

Apabila torak pemindah ke TMB gas bekerja bergantian dari ruangan dingin melalui pipa ke ruangan panas. Gas dipanaskan sehingga tekanan naik dan torak perlahan terdorong ke TMB, tekanan gas turun bila torak pemindah bergerak ke TMA dan gas berpindah pada ruangan pendingin.

Torak pemindah dihubungkan dengan poros engkol melalui batang torak, yoke dan dua batang penghubung batang poros engkol, torak penekan dengan batang toraknya berlubang dan batang torak pemindah masuk ke dalam lubang poros engkol dihubungkan melalui dua roda gigi yang saling berkaitan dan berputar berlawanan arah.

Tenaga dari torak penekan dipindahkan ke poros engkol dan dari sana pada porosnya melalui sebuah roda gigi, mekanik pemutar memberi keyakinan rangkaian dari gerakan pada torak pemindah dan torak penekan.

Motor *stirling* dapat dipergunakan

untuk berbagai keperluan misalnya sebagai penggerak kendaraan darat, kapal laut, maupun mesin stasioner. Hal ini sangat menarik perhatian orang karena beberapa keuntungan yang diharapkan dapat diperoleh dari motor *stirling* yakni antara lain:

1. Gas buang yang lebih bersih, bebas dari segala unsur yang dapat mengakibatkan polusi udara khususnya karbon (C) dan Hidrokarbon (HC).
2. Dapat mempergunakan berbagai macam bahan bakar atau alat pemanas lainnya sebagai pengganti ruang bakar.
3. Tidak mengeluarkan bunyi yang keras dan boleh dikatakan bebas dari gerakan.
4. Dapat menghasilkan efisiensi panas yang tinggi.
5. Dapat beroperasi dengan momen putar yang praktis, konstan dalam daerah putaran yang luas.
6. Dapat di-*starter* dengan mudah.

Dalam konsep motor *stirling* dapat dipakai udara, helium atau hidrogen sebagai fluida kerjanya. Proses pemanasan fluida yang terjadi di dalam alat pemanas yang dilakukan oleh gas pembakaran dihasilkan dari pembakaran bahan bakar di dalam. Ruang bakar terletak di luar sistem fluida kerja mesin *stirling*. Oleh karena itu motor *stirling* termasuk dalam golongan mesin pembakaran luar. Sebagai

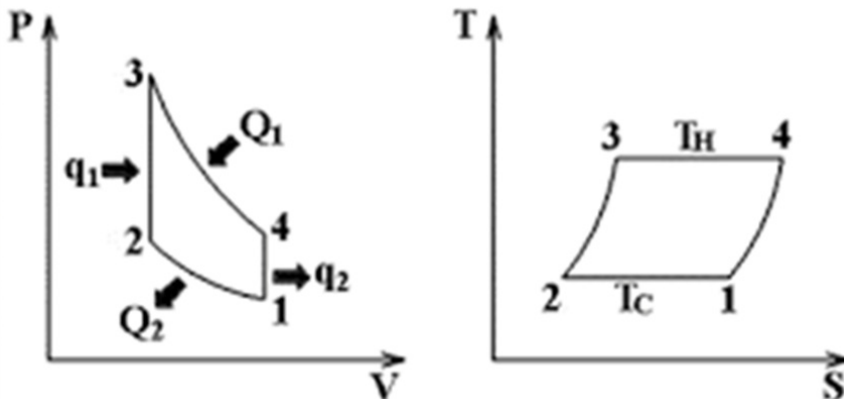
pendingin dapat dipergunakan air biasa. Motor *stirling* dapat dipergunakan untuk berbagai macam keperluan.

### Siklus *Stirling*

Siklus *stirling* merupakan siklus yang menggunakan prinsip siklus regenerator diperlihatkan pada diagram P-V dan T-S Gambar 1. Siklus tersebut terdiri dari empat proses reversibel secara internal: kompresi isothermal dari kondisi 1 sampai kondisi 2 pada temperatur  $T_c$ . Pemanasan pada volume konstan dari kondisi 2 sampai kondisi 3, ekspansi isothermal dari kondisi 3 sampai kondisi 4. Pada temperatur  $T_h$ , pendinginan pada volume konstan dari kondisi 4 menuju kondisi 1 untuk melengkapi siklus ini.

Regenerator yang memiliki nilai keefektifan 100% mengijinkan kalor yang terbuang selama proses 4-1 untuk

digunakan sebagai masukan kalor di dalam proses (2-3). Oleh sebab itu, proses penambahan kalor secara eksternal ke dalam fluida kerja terjadi di dalam proses isothermal 3-4 dan semua kalor yang terbuang ke lingkungan terjadi di dalam proses isothermal 1-2. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi termal pada siklus *Stirling* diberikan melalui persamaan yang sama seperti yang digunakan pada siklus Carnot maupun Ericsson (Moran M.J., & Shapiro, H.N.,(2004: 107).



Gambar 1. Diagram P-V dan T-S dari Moran M.J & Shapiro

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah penelitian pengembangan (R&D). Spesifikasi teknis produk hasil fase pertama proses perancangan menjadi dasar fase berikutnya, yaitu fase perancangan konsep produk. Tujuan fase ini adalah menghasilkan alternatif konsep produk sebanyak mungkin. Konsep produk yang dihasilkan fase ini masih berupa skema atau dalam bentuk skets. Pada prinsipnya, semua alternatif semua konsep produk tersebut memenuhi spesifikasi teknik produk. Pada akhirnya fase perancangan konsep produk, dilakukan evaluasi pada hasil rancangan konsep produk untuk memilih satu atau beberapa konsep produk terbaik untuk dikembangkan pada fase ketiga, fase perancangan produk.

Fase perancangan produk merupakan pengembangan alternatif dalam bentuk skema atau skets menjadi produk atau benda teknik yang bentuk, material dan dimensi elemen-elemennya ditentukan. Fase perancangan produk diakhiri dengan perancangan detail elemen-elemen produk, yang kemudian dituangkan dalam gambar-gambar detail untuk proses pembuatan.

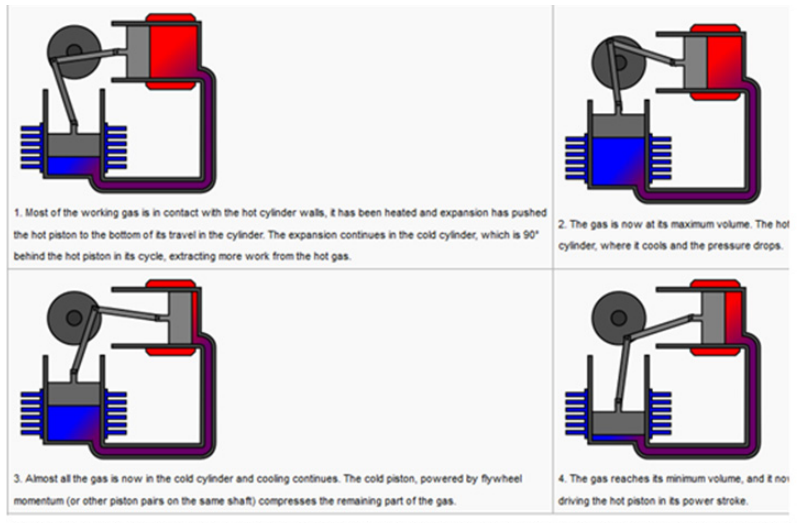
Dokumen atau gambar hasil perancangan produk tersebut dapat dituangkan dalam bentuk gambar tradisional di atas kertas (2 dimensi) atau gambar dalam bentuk modern yaitu informasi digital yang disimpan dalam bentuk memori komputer. Informasi dalam digital tersebut dapat berupa

*print-out* untuk menghasilkan gambar tradisional atau dapat dibaca oleh sebuah *software* komputer. Gambar hasil rancangan produk terdiri atas gambar semua elemen produk lengkap dengan geometrinya, dimensinya, kekasaran/kehalusan permukaan dan material; gambar susunan komponen (*assembly*); gambar susunan produk; Spesifikasi yang membuat keterangan-keterangan yang tidak dapat dimuat dalam gambar.

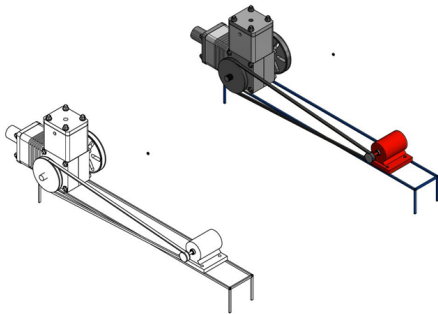
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan mesin *stirling* yang akan dibuat. Prinsip kerja sistem ini adalah mengubah energi panas matahari menjadi energi mekanik dan mengubahnya menjadi energi listrik. Gambar dan prinsip kerjanya adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Prinsip Kerja (Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/stirling\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/stirling_engine))



Gambar 3. Detail *stirling engine* (akan didesain) (Sumber: Digambar Angger Gufita)

1. Cahaya (panas) dari matahari diarahkan menuju ke kepala silinder panas mesin *stirling* menggunakan kaca pembesar. Panas ini akan memanaskan fluida yang ada pada dinding silinder dan membuat tekanan meningkat sehingga akan mendorong torak pertama ke bawah untuk memutar poros engkol.
2. Kemudian poros engkol akan menggerakkan torak pertama kembali ke atas akibat momentum dari roda gila. Torak yang kembali ke atas akan mendorong fluida yang bertekanan mengalir menuju ruang silinder yang dingin dan mendorong torak kedua. Di ruang silinder dingin ini fluida akan menyusut. Ketika piston kedua



kembali ke atas dengan mudah akibat momentum roda gila dan tekanannya yang kecil karena volume fluida telah menyusut.

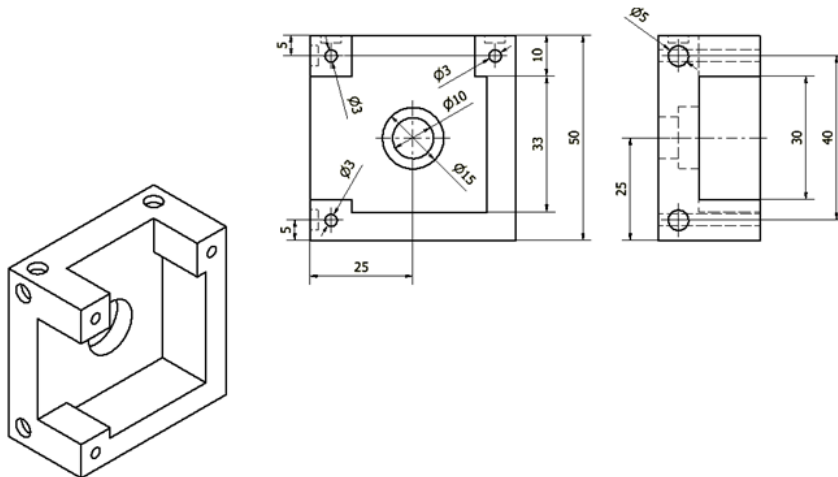
3. Setelah fluida kembali ke ruang silinder panas maka siklus akan terulang kembali dan menghasilkan gerak putar pada poros engkol.
4. Gerak putar ini yang diteruskan untuk memutar generator seperti pada generator set biasanya. Gerak putar inilah yang nantinya akan diubah menjadi energi listrik.
5. Saat malam tiba mesin *stirling* tetap dapat bekerja menggunakan sumber panas dari sumber lain. Karena mesin *stirling* termasuk jenis mesin pembakaran luar. Namun untuk tetap menjaga keramahan lingkungannya maka sumber panas yang akan

digunakan dari pemanfaatan biogas yang telah ada.

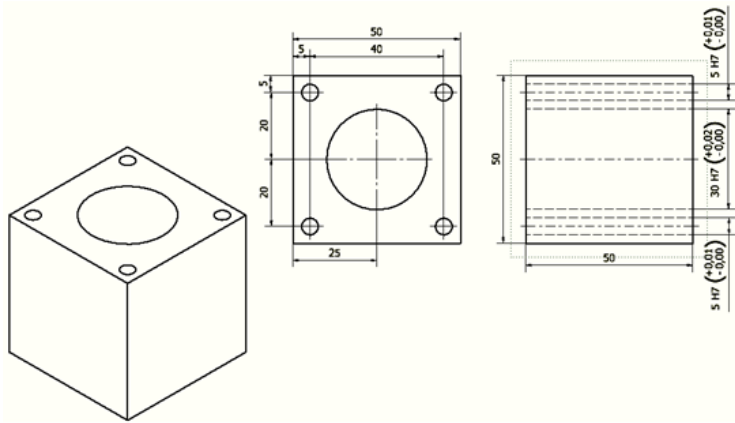
6. Biogas akan digunakan sebagai bahan bakar alat pemanas yang diolah menggunakan reaktor gas.

### Gambar Kerja Mesin *Stirling*

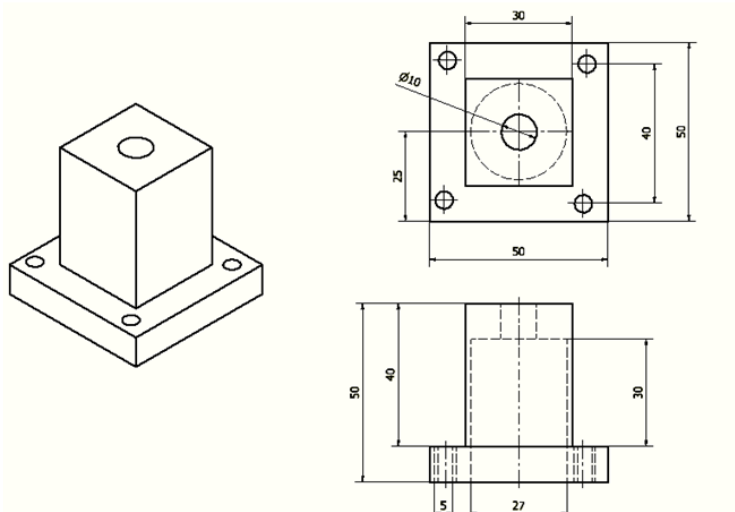
Pada proses pembuatan mesin *stirling* ada beberapa komponen yang perlu dibuat menggunakan proses pemesinan. Sebelum proses pemesinan dilakukan maka perlu dibuat gambar kerja sebagai acuan agar bahan mentah yang akan dibuat dapat menjadi barang jadi yang sesuai dengan harapan. Berikut merupakan desain komponen yang akan dilakukan proses pemesinan seperti gambar berikut ini.



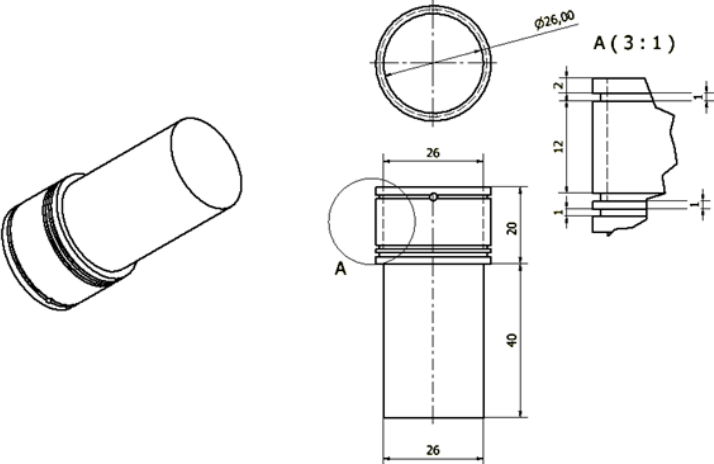
Gambar 4. *Crankcase*



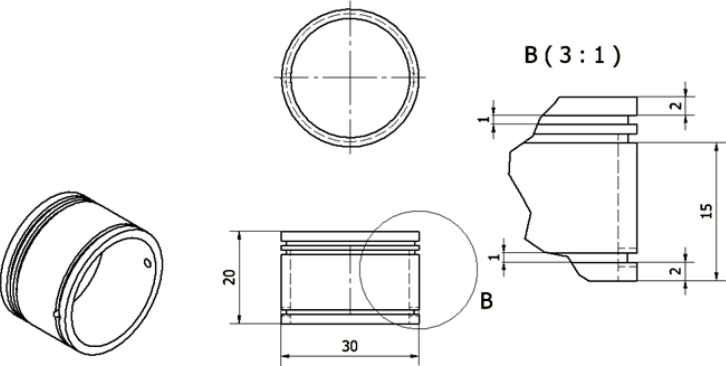
Gambar 5. *Block Cylinder Panas/Dingin*



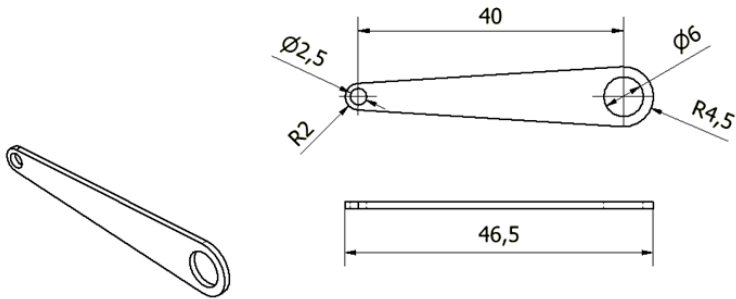
Gambar 6. *Cylinder Head Panas*



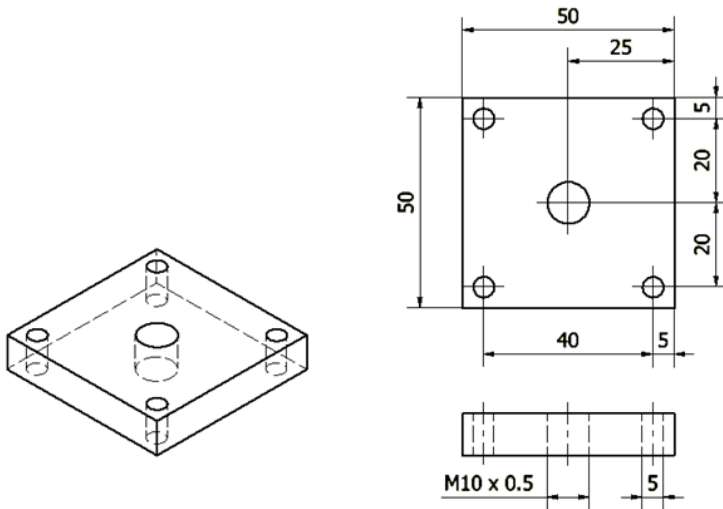
Gambar 7. Piston Panas



Gambar 8. Piston Dingin



Gambar 9. Stang Piston Panas dan Dingin



Gambar 10. Cylinder Head Dingin

### Proses Pembuatan Komponen

Pada proses pembuatan komponen mesin *stirling* terdapat beberapa macam pengerjaan yaitu proses pembubutan, proses mengefraisi, proses menggerinda, dan proses pengeboran. Komponen komponen yang dikerjakan menggunakan mesin bubut yaitu piston panas, piston dingin, dan poros utama. Sedangkan untuk proses pengerjaan mesin fraisi yaitu *crankcase* kanan, *crankcase* mesin kiri, *block cylinder* panas, *block cylinder* dingin, *cylinder head* panas, dan *cylinder head* dingin. Pada proses pengerjaan penggerindaan hanya dilakukan pada komponen stang piston saja. Pada pengerjaan bor terdapat beberapa komponen yaitu pada *block cylinder* mesin panas, *block cylinder* mesin dingin, *cylinder head* panas, *cylinder head* dingin, piston, stang piston, *crankcase*, dan poros utama.

### Proses Perakitan

Proses perakitan dimulai dari pemasangan *bearing* pada blok mesin kanan kemudian memasang poros utama. Setelah itu memasang pin essentrik dan dilakukan pemasangan *bearing* kecil. Langkah selanjutnya yaitu memasang stang piston panas dan dingin. Setelah stang piston terpasang kemudian tutup dengan blok mesin kiri dan dilakukan pengikatan menggunakan baut pada lubang-lubangnya. Kemudian pasang pin piston serta piston dan dilanjutkan dengan pemasangan *head* silinder.

Selanjutnya memasang tutup silinder *head* dan mengikatnya menggunakan baut.

### Produk Akhir Mesin *Stirling*

Mesin *stirling* yang telah dibuat manufakturnya sudah sesuai yang diharapkan. Akan tetapi ada beberapa kendala yang menyebabkan kurang maksimalnya kinerja mesin tersebut diantaranya yaitu piston terlalu sesak sehingga mengakibatkan *fly wheel* susah berputar. Hal ini dikarenakan diameter piston dengan diameter silinder toleransinya terlalu kecil. Selain itu pemilihan bahan untuk silinder yang kurang sesuai dapat mengakibatkan piston sesak. Kendala yang kedua yaitu plat yang dipakai untuk stang piston terlalu tipis. Sehingga pada saat kompresi berlangsung stang piston kocak dan mengakibatkan pergerakan piston dari TMA ke TMB ataupun dari TMB ke TMA tidak stabil. Selain itu pada sambungan-sambungan komponen masih terdapat kebocoran sehingga mengakibatkan kompresi bocor. Yaitu udara yang terkompresi di dalam ruang kompresi keluar melalui celah-celah sambungan sehingga tenaga banyak yang terbuang. Dari kendala-kendala yang dihadapi tersebut maka penelitian ini akan berfokus pada kinerja mesin *stirling*. Untuk pengubahan tenaga gerak yang dihasilkan dari mesin *stirling* menjadi tenaga listrik akan dilakukan pada penelitian selanjutnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Darmawan. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik*. Bandung : ITB
- Daryanto. 1987. *Teknik Pesawat Tenaga*. Jakarta: PT. Bina Aksara
- Data Stastitik PLN. 2013. *Produksi Listrik Indonesia*. Diakses dari <http://www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2013IND.pdf> pada tanggal 18 Februari 2015.
- Moran, M.J & Shapiro H.N. 2004. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics (buku Termodinamika Teknik)*. Alih bahasa: Yulianto S.N., & Adi Surjosatyo. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Narbuko, C & Achmadi, H A. 2005. ***Metodologi Penelitian***. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Sukmana, R.W. & Muljatiningrum, A. 2011. *Biogas dari Limbah Ternak*. Bandung: Penerbit Nuansa.