

PENGUJIAN DAN ANALISIS DAYA HASIL PEMBUATAN DARI RANCANGAN PROTOTIPE MESIN STIRLING TIPE BETA

Dede Buchori Muslim, Suyono, dan Lukman Nul Hakim

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl. Kanayakan No. 21-Dago, Bandung - 40135

Phone/Fax : 022.250 0241 / 250 2649

Abstrak

Seiring dengan adanya peningkatan teknologi dan berkembangnya populasi penduduk di bumi ini, maka kebutuhan akan energi semakin meningkat. Penggunaan energi di dunia masih banyak bersumber dari energi yang berasal dari fosil. Seiring berjalannya waktu energi yang bersumber dari fosil akan habis. Selain dari kelangkaan yang akan terjadi, investasi yang harus dikeluarkan untuk mengonversikan energi tersebut relatif tinggi. Salah satu alternatif untuk mendapatkan sumber energi yang berasal dari non fosil yaitu dengan membuat mesin stirling. Mesin Stirling merupakan mesin termodinamika yang bekerja dengan menggunakan pembakaran luar yang sumber pembakarannya bukan berasal dari bahan bakar non fosil. Pada prinsip kerjanya mesin ini memanfaatkan perbedaan volume serta tekanan fluida dalam silinder yang memuai ketika dipanaskan dan menyusut ketika didinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaihan dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Pembuatan prototipe mesin Stirling tipe beta berdasarkan hasil rancangan metode Pahl dan Beitz. Tahapan proses penelitian yaitu proses perancangan, pengadaan material, pembuatan, perakitan, dan pengujian, pengujian yang dilakukan adalah uji fungsi mesin dengan cara manual dan dipanaskan dengan beberapa parameter temperatur 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C. Hasil dari pengujian di dapatkan mesin ini belum bisa berfungsi karena beberapa penyebab seperti masih besarnya gesekan yang terjadi pada setiap komponen dan terlalu kecilnya dimensi *crankshaft*. Hasil perhitungan daya mesin dilakukan dengan mengasumsikan Rpm mesin $n=500$, daya mesin yang dihasilkan 580 Watt.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan adanya peningkatan teknologi dan berkembangnya populasi penduduk di bumi ini, maka kebutuhan akan energi semakin meningkat. Hal-hal tersebut sangat mempengaruhi kualitas hidup seseorang. Kebutuhan listrik di Indonesia pada 22 wilayah pemasaran listrik PLN selama kurun waktu 17 tahun (2003 s.d 2020) diperkirakan tumbuh sebesar 6.5% pertahun dari 91,72 TWh pada tahun 2002 menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020, perhitungan ini diambil dari keseluruhan sektor yaitu sektor industri, rumah tangga, usaha, umum, dan lainnya. (Moch. Muchlis, 2006). Dua hal mendasar yang memberatkan pemanfaatan sumber energi berbasis fosil adalah bahwa ketersediaan sumber daya alam ini sangat terbatas dan berdampak negatif terhadap lingkungan lokal serta global. Sebagai contoh keterbatasan sumber energi primer adalah produksi minyak bumi

nasional sudah menurun sehingga untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri saja sudah harus melakukan impor (EIA, 2006). Sementara itu, cadangan gas nasional juga akan mengalami skenario yang sama bahwa sekitar 20 tahun lagi, gas sudah harus diimpor untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri (Widianto, 2007). Mesin Stirling merupakan mesin termodinamika yang bekerja dengan menggunakan pembakaran luar yang sumber pembakarannya bukan berasal dari bahan bakar minyak (BBM). inilah yang dibutuhkan guna mengantisipasi kurangnya sumber energi fosil di Indonesia khususnya untuk memenuhi kebutuhan listrik skala rumah tangga di daerah terpencil. Hal ini lah yang melatarbelakangi penelitian yang dilakukan, yaitu mengenai “**PENGUJIAN DAN ANALISIS DAYA HASIL PEMBUATAN DARI RANCANGAN PROTOTIPE MESIN STIRLING TIPE BETA**”

2. LANDASAN TEORI

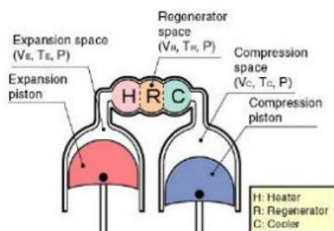
2.1 Mesin Stirling

Mesin Stirling merupakan perangkat mekanik yang beroperasi pada siklus termodinamika regeneratif tertutup, dengan siklus kompresi dan ekspansi fluida kerja pada tingkat suhu yang berbeda. Alirannya dikendalikan oleh perubahan volume dan ada total perubahan atau konversi dari panas ke kerja ataupun sebaliknya (Graham, 1980). Mesin Stirling pada umumnya memiliki cara kerja memanfaatkan sifat dasar udara yang akan memuai jika dipanaskan dan akan menyusut jika didinginkan. Dengan demikian akan terjadi siklus pemuaian dan penyusutan sehingga sebuah mesin dapat berputar. Dari definisi tadi dapat ditarik kesimpulan bahwa mesin Stirling akan bekerja atau berputar jika terdapat perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur tersebut mengakibatkan adanya perbedaan tekanan yang akhirnya menghasilkan ekspansi dari fluida kerjanya. Ekspansi inilah yang dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi kerja oleh piston yang kemudian dihubungkan ke poros engkol (*crankshaft*) agar menjadi kerja mekanik. Poros engkol ini kemudian dihubungkan ke *flywheel* agar dapat terjadi siklus berikutnya (Kwankaomeng, 2008).

2.2 Jenis Mesin Stirling

1. Tipe alpha (α)

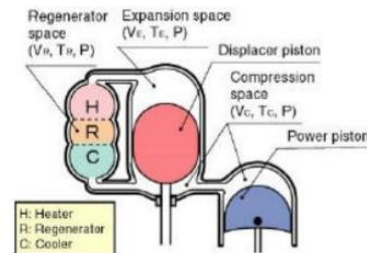
Mesin Stirling tipe alpha (gambar 2.5) memiliki dua atau lebih piston terpisah yang secara mekanik terhubung dengan kruk as dan bergerak secara konstan. Gas kerja bergerak melewati pendingin (*cooler*), regenerator dan pemanas (*heater*), bergerak maju dan mundur diantara dua silinder. Masing-masing piston memiliki segel (*seals*) untuk menjaga agar gas kerja tetap di dalam silinder. Seluruh mesin Stirling tipe alpha merupakan mesin kinematik.



Gambar 2.1 Mesin Stirling tipe alpha

2. Tipe gamma (γ)

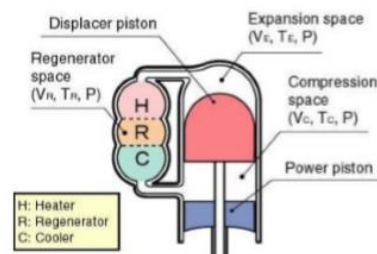
Mesin Stirling tipe gamma (gambar 2.6.) memiliki susunan dimana displacer dan power piston terletak di silinder yang terpisah. Displacer menggerakkan gas kerja keluar dan masuk bagian panas dan dingin pada bagian mesin. Ruang bagian ujung dingin (*cold end*) termasuk bagian dingin dari displacer sama seperti power piston. Gas kerja bergerak melewati pendingin (*cooler*), regenerator dan pemanas (*heater*), bergerak maju dan mundur diantara dua silinder. Mesin Stirling tipe gamma dapat dikategorikan sebagai mesin kinematik ataupun mesin *free-piston*.



Gambar 2.2 Mesin Stirling tipe gamma

3. Tipe beta (β)

Mesin Stirling tipe beta (gambar 2.7) memiliki susunan dimana displacer dan power piston selaras dengan satu dan yang lain. Displacer menggerakkan gas kerja keluar dan masuk bagian panas dan dingin pada bagian mesin. Bagian ujung panas adalah ruang ekspansi (*expansion space*) dan bagian ujung dingin adalah ruang kompresi (*compression space*). Gas bergerak keluar masuk melewati pendingin (*cooler*), regenerator dan pemanas (*heater*). Mesin Stirling tipe beta dapat dikategorikan sebagai mesin kinematik ataupun mesin *free-piston*.

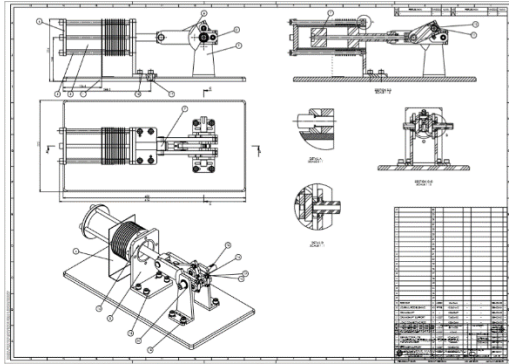


Gambar 2.3 Mesin Stirling tipe beta

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambar kerja

Berdasarkan proses perancangan yang sudah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan metode Pahl & Beitz, dihasilkan gambar kerja (gambar 3.2) dari Prototipe Mesin Stirling tipe Beta sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Gambar Kerja Prototipe Mesin Stirling tipe Beta

3.2 Pengadaan Material

3.2.1. Komponen standar

Komponen standar adalah material yang memiliki standar dalam pengadaannya tanpa perlu dilakukan proses pemesinan kembali seperti : baut, mur, ring, bantalan, dll. Untuk material tersebut biasanya dapat digunakan langsung saat proses perakitan

Tabel 3. 1 Daftar komponen standar

No	Komponen	Jumlah
1	Baut Inbus M4x15	4
2	Baut Inbus M5x15	3
3	Baut Inbus M6x15	6
4	Baut inbus M10x25	8
5	Baut Inbus M14x15	4
6	Pena Ø4	1
7	Pena Ø6	4
8	Bantalan	2
9	Ring M6	6
10	Ring M10	8

3.2.2. Komponen tidak standar

Komponen ini didapat dengan membeli raw material, kemudian dilakukan proses pemesinan untuk mendapatkan bentuk dan fungsi yang sesuai dengan gambar kerja.

Tabel 3. 2 Daftar komponen tidak standar

No	Komponen	Jumlah	Material	Ukuran
1	Base plate	1	St 37	600x300x14
2	Cylinder	1	St 52	Ø80x228
3	Power Piston	1	Dural	Ø70x129
4	Displacer Piston	1	Alumunium	60x50
5	Crankshaft	1	St 37 & VCN	-
6	Long connecting rod	2	Dural	170x44x12

3.3 Proses Pembuatan

Proses pembuatan adalah tahapan dalam membuat komponen tidak standar dari mesin stirling tipe beta.

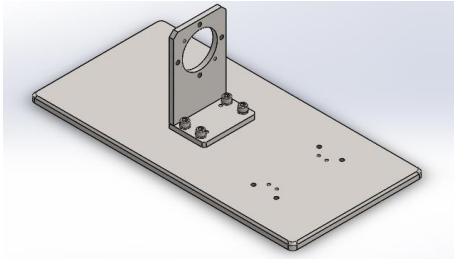
Tabel 3. 3 Daftar Proses Pemesinan

No	Komponen	Jumlah	Proses			
1	Base Plate	1	Frais	Gerinda Datar	Bor	Tap
2	Cylinder support	1	Frais	Gerinda Datar	Bor	Tap
3	Cylinder support base	1	Frais	Gerinda Datar	Bor	
4	Cylinder	1		Bubut		Gerinda Silinder
5	Cylinder base	1		Bubut		Bor
6	Cylinder fin	1		Bubut		Bor
7	Cylinder cover	1		Bubut		Bor
8	Cylinder bolt	4		Bubut		Bor
9	Separator plate	1			Bor	
10	Power piston	1		Bubut		Bor
11	Nut power piston	1		Frais		Bubut
12	Displacer piston	1		Bubut		Bor
13	Nut displacer piston	1		Frais		Bor
14	Rod displacer piston	1		Bubut		
15	Shaft displacer piston	1		Bubut		
16	Bushing	6		Bubut		
17	Short connecting rod	1		Frais		Bor
18	Long connecting rod	2		Frais		Bor
19	Crankshaft support	2		Frais		Bor
20	Crankshaft support base	2		Frais		Bor
21	Crankshaft	1		Bubut	Frais	Bor

3.4 Perakitan

3.4.1. Perakitan *base plate*

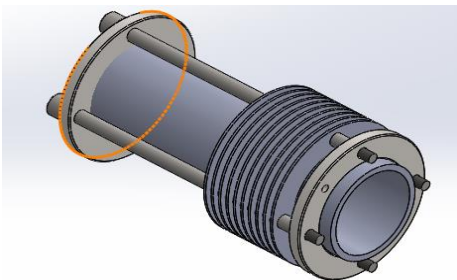
Perakitan *Base Plate* dilakukan dengan menggabungkan 3 komponen yaitu *base cylinder*, *cylinder support*, dan *base plate*, perakitan ini harus memperhatikan ketegaklurusan dari setiap komponen.



Gambar 3. 2 Sub-Assy Baseplate

3.4.2. Perakitan silinder

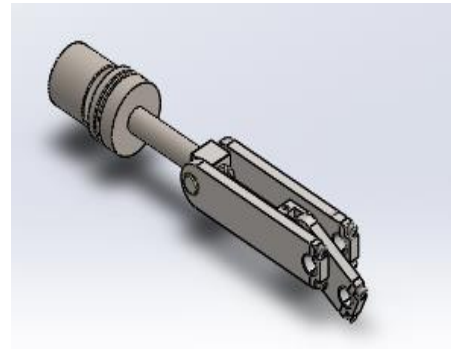
Perakitan silinder ini dilakukan dengan menggabungkan 5 komponen, dalam perakitan silinder ini yang harus diperhatikan adalah kesatusumbuan antar komponen.



Gambar 3. 3 Sub-Assy Silinder

3.4.3. Perakitan piston dan *connecting rod*

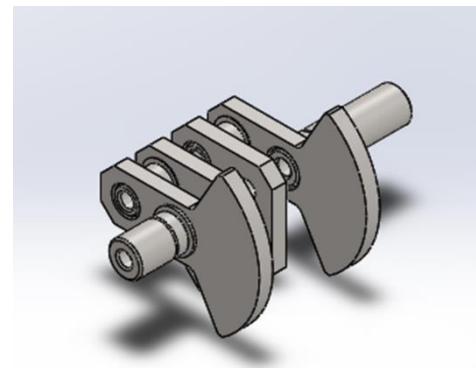
Perakitan piston dan *connecting rod* dilakukan dengan menggabungkan 8 komponen.



Gambar 3. 4 Sub-Assy Connecting Rod dan Piston

3.4.4. Perakitan *crankshaft*

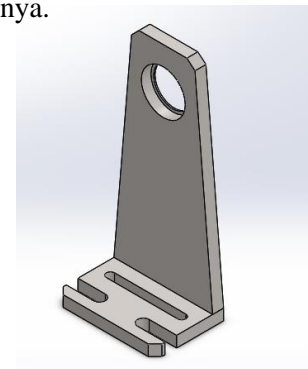
Perakitan *crankshaft* ini dilakukan dengan menggabungkan 9 komponen, pada perakitan *crankshaft* ini harus diperhatikan kesejajaran dan kesatusumbuan antar komponen.



Gambar 3. 5 Sub-Assy Crankshaft

3.4.5. Perakitan *crankshaft support*

Perakitan *crankshaft support* dilakukan dengan menggabungkan 2 komponen, pada perakitan ini harus diperhatikan ketegaklurusannya.



Gambar 3. 6 Sub-Assy Crankshaft support

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Pengujian Fungsi Mesin Secara Manual

Pengujian ini dilakukan dengan menggerakkan puli secara manual, dan pengujian fungsi ini dilakukan dengan 2 cara yaitu :

4.1.1. Pengujian mesin tanpa tutup



Gambar 4. 1 Mesin tanpa tutup silinder

4.1.2. Pengujian mesin dengan tutup



Gambar 4. 2 Mesin dengan tutup silinder

4.2. Pengujian Mesin dengan Menggunakan Pemanas

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan panas pada salah satu bagian silinder, pemanas yang digunakan yaitu *torch*, pengujian ini dilakukan di bengkel fabrikasi Polman Bandung dengan 3 kondisi posisi piston yaitu ketika posisi TMA, TMB, dan antara TMA-TMB.

adapun langkah pengujian nya sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan pengujian (alat ukur, alat pemanas, dan alat bantu).
2. Nyalakan api pemanas
3. Arahkan pemanas pada salah satu bagian silinder.
4. Ukur setiap perubahan temperatur.

5. Untuk memutar mesin dilakukan dengan cara memutar puli secara manual sebagai pancingan awal putaran.



Gambar 4. 3 Pengujian dengan pemanasan pada salah satu sisi silinder mesin

4.2.1. Data pengujian

Tabel 4. 1 Data pengujian posisi piston di TMA

no	waktu(menit)	temperatur panas (°C)	temperatur dingin (°C)	keterangan
1	1	100	28	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA
2	2.5	200	35	Berhenti pada posisi 32mm dari TMA
3	4	350	46	Berhenti pada posisi 32mm dari TMA
4	5	400	57	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA dan piston macet.

Tabel 4. 2 Data pengujian posisi piston di TMB

no	waktu(menit)	temperatur panas (°C)	temperatur dingin (°C)	keterangan
1	1.5	100	28	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA
2	2.5	200	32	Berhenti pada posisi 32mm dari TMA
3	4.5	350	43	Berhenti pada posisi 32mm dari TMA
4	5.5	420	61	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA, piston macet

Tabel 4. 3 Data pengujian posisi piston diantara TMA-TMB

no	waktu(menit)	temperatur panas (°C)	temperatur dingin (°C)	keterangan
1	1	100	27	Berhenti pada posisi 30mm dari TMA
2	2	200	35	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA
3	4.5	350	40	Berhenti pada posisi 30mm dari TMA
4	6	446	64	Berhenti pada posisi 31mm dari TMA dan

4.2.2. Daya mesin yang dihasilkan berdasarkan keadaan aktual.

Langkah perhitungan daya mesin :

Tabel 4. 4 Data untuk perhitungan

parameter	nilai	satuan	referensi
TH	400	°C	Data pengujian
	673	K	
TC	60	°C	Data pengujian
	333	K	
D	70	mm	hasil pengukuran beda kerja
d	60	mm	hasil pengukuran beda kerja
d rod	12	mm	hasil pengukuran beda kerja
R	286	J/Kg.K	standar
L TMA	104	mm	hasil pengukuran beda kerja
L TMB	164	mm	hasil pengukuran beda kerja
ρ udara	1.2	Kg/m ³	standar
m udara	0.002688	Kg	Hitungan Rancangan
n	500	rpm	Asumsi
μ	0.61		Standar koefisien gesek baja dan aluminium
W	10.78	kg	Perhitungan pada <i>solidwork</i>

Berdasarkan (Gambar 4.5) dan (tabel 4.4) maka dapat dilakukan perhitungan untuk Menghitung daya mesin.

4.2.2.1.Perhitungan Tekanan (P1, P2, P3, dan P4)

- V_{TMA}

$$V_{TMA} = V_D - (V_D + V_{drod}) = 263046 \text{ mm}^3$$

- V_{TMB}

$$V_{TMA} = V_D - (V_D + V_{drod}) = 487048 \text{ mm}^3$$

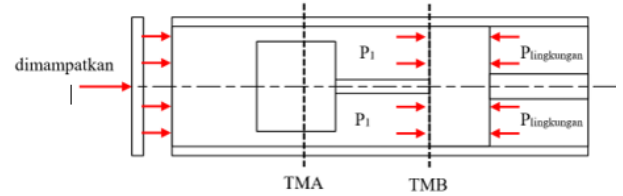
$$V1 = V_{TMB} \text{ dan } V2 = V_{TMA}$$

1. Menghitung P₁

$$P_1 V_1 = m \cdot R \cdot T_C$$

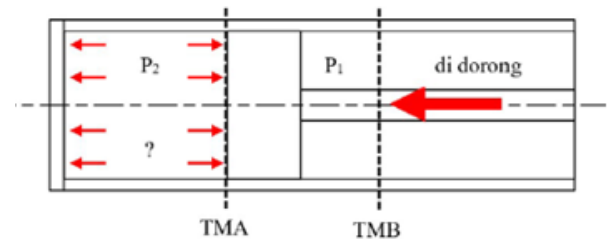
$$P_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_C}{V_1}$$

$$P_1 = 52562 \text{ Pa}$$



Gambar 4. 4 Udara dimampatkan posisi posisi TMB

2. Menghitung P₂



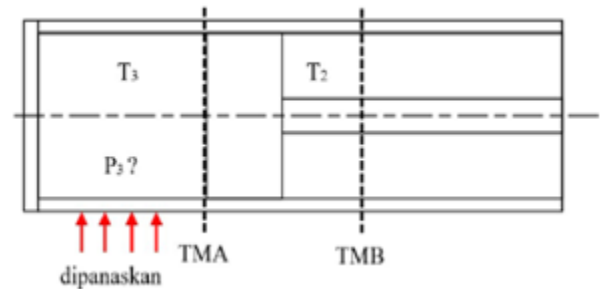
Gambar 4. 5 Udara dalam silinder dikompresi

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$P_2 = 97322 \text{ Pa}$$

3. Menghitung P₃



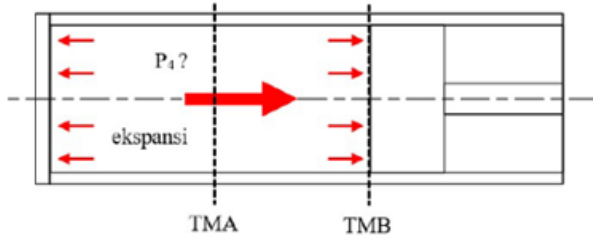
Gambar 4. 6 Silinder dipanasakan

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$$

$$P_3 = \frac{P_2 \cdot T_3}{T_2}$$

$$P_3 = 196690 \text{ Pa}$$

4. Menghitung P₄



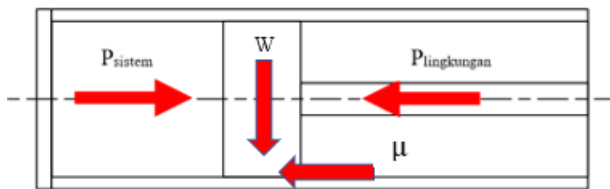
Gambar 4. 7 Udara mengembang power piston

$$P_3 \cdot V_3 = P_4 \cdot V_4$$

$$P_4 = \frac{P_3 \cdot V_3}{V_4}$$

$$P_4 = 106228 \text{ Pa}$$

4.2.2.2. Perhitungan gaya dorong piston (F_p)



Gambar 4. 8 Gaya dorong piston dan gaya dorong lingkungan

$$P = \frac{F}{A}$$

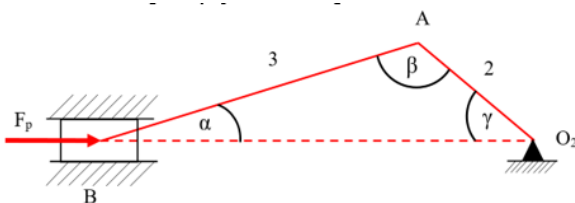
$$F_p = P_3 \cdot A - P_{1atm} \cdot A$$

$$F_{ges} = 6.57 \text{ N}$$

$$F_p = 372.10 \text{ N}$$

$$F_{ptot} = F_p - F_{ges} \\ = 365.5 \text{ N}$$

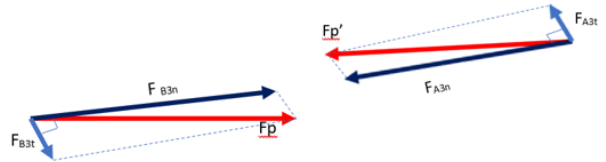
4.2.2.3. Perhitungan Gaya pada Connecting rod



Gambar 4. 9 DBB konstruksi connecting rod

Pada sambungan *connecting rod* dan *crankshaft* (titik A dan O₂) terjadi gaya gesek antara teflon dan baja, nilai koefisien geseknya yaitu 0.04 dan berat dari *connecting rod* yaitu 2.3 N , sehingga diasumsikan gaya gesek yang terjadi pada sambungan tidak terlalu besar sehingga diabaikan.

Perhitungan dilakukan dengan melakukan penguraian gaya menjadi gaya normal dan gaya tangensial menggunakan metode grafis.



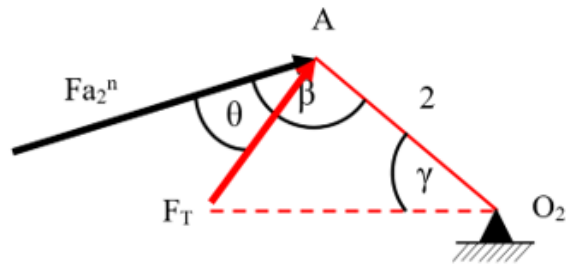
Gambar 4. 10 DBB batang AB

$F_p = 365,5 \text{ N}$, kemudian digambarkan dengan metode grafis didapatkan nilai F_{3n} dan F_{3t} sebagai berikut :

$$F_{B3n} = 365,3 \text{ N} = F_{A3n}$$

$$F_{T3n} = 16.6 \text{ N} = F_{T3n}$$

4.2.2.4. Perhitungan torsi



Gambar 4. 11 DBB dititik A

Berdasarkan (gambar 4.13) didapatkan F_{B3n} , kemudian pada DBB di titik A arah gaya F_{A3n} merupakan reaksi dari F_{A3n} pada batang AB

$$T_p = F_{A3n} \cdot R \cdot \cos(\theta)$$

$$T_p = 3.32 \text{ Nm}$$

4.2.2.5. Perhitungan daya mesin

Daya mesin dapat dihitung setelah didapatkan torsi dan rpm mesin, rpm mesin di asumsikan $n=500$ rpm

$$P = \frac{2 \cdot T \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$P = \frac{2 \cdot 3.32 \cdot \pi \cdot 500}{60}$$

$$P = 173.87 \text{ Watt}$$

4.3. Analisis Hasil Pengujian

Dari beberapa pengujian dapat dilihat dari data (tabel 4.1, 4.2, dan 4.3) menunjukkan pada posisi TMA, TMB, dan antara TMA-TMB serta pada temperatur berapapun prototipe mesin stirling tipe beta selalu berhenti pada posisi yang hampir sama yaitu antara 30-32mm dari jarak posisi TMA setelah dilakukan beberapa pengecekan dengan cara melepas beberapa bagian *connecting rod* di dapatkan penyebabnya adalah ada kebocoran antara lubang piston dan rod *displacer*, pengujian ini tidak dapat dilakukan melebihi temperatur 400°C karena piston dan silinder sudah mengalami pemuaian sehingga piston tidak dapat bergerak atau macet. Perhitungan daya aktual dapat dilakukan dengan mengasumsikan rpm mesin dengan $n = 500$ dan torsi yang digunakan adalah torsi maksimal = 11.08 Nm sehingga dihasilkan hitungan daya mesin 580 Watt

4.4. Analisis Penyebab Kegagalan

Dari kondisi aktual dan hasil pengujian, penulis menganalisis ada beberapa penyebab kegagalan fungsi dari prototipe mesin stirling tipe beta yang dibuat, diantaranya:

1. Tidak adanya ring piston yang bergesekan dengan silinder, sehingga mengakibatkan piston dengan material aluminium bergesekan secara langsung dengan silinder yang materialnya baja, sehingga piston mudah aus.
2. *Connecting rod* terlalu berat sehingga mengakibatkan gaya gesek yang besar antara

piston dan silinder sehingga mengakibatkan pergerakan piston menjadi berat.

3. Dimensi *Crankshaft* dilihat pada keadaan aktual ukurannya terlalu kecil sehingga momen inersia massa yang diperlukan untuk membalikan arah piston tidak cukup.
4. Tekanan udara yang dipanaskan dalam silinder tidak mampu mendorong piston karena terlalu besarnya gap *displacer* piston sehingga volume udara antara ruangan panas dan ruangan dingin relatif sama.

4.5. Analisis untuk perbaikan

Dari analisis yang sudah dilakukan sebelumnya didapatkan hasil bahwa penyebab prototipe mesin stirling tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, untuk itu analisis langkah perbaikannya adalah sebagai berikut :

1. Mengganti konstruksi *Connecting rod* agar lebih ringan sehingga gaya gesek yang terjadi pada piston menjadi lebih kecil.
2. Menggunakan ring pada piston agar piston tidak cepat aus dan gesekan menjadi lebih kecil.
3. Memperbesar dan menyetimbangkan konstruksi *crankshaft* agar memiliki momen inersia yang cukup untuk membalikan arah gerakan piston.
4. Memperbesar dimensi *displacer* piston sehingga perbedaan volume udara dalam silinder pada saat ditutup menjadi lebih besar.

5. PENUTUP

5.1. Simpulan

1. Dalam penelitian ini kefungsiian dari prototipe mesin stirling tipe beta belum tercapai karena beberapa penyebab diantaranya : adanya kebocoran pada piston sehingga udara yang dipanaskan di dalam silinder tidak dapat mendorong piston, material piston yang kurang tepat karena memiliki koefiesien muai yang besar, dimensi *crankshaft* yang terlalu kecil dan tidak di setimbangkan.
2. Perhitungan daya mesin aktual bisa ditentukan dengan memasukan data-data hasil pengujian dan mengasumsikan Rpm mesin $n=500$, sehingga didapatkan hasil hitungan daya mesin dengan torsi maksimal sebesar 580 Watt .

5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan penulis memeberikan beberapa saran untuk penelitian lanjutan:

1. Menghitung dan membuat konstruksi dari *connecting rod* agar lebih ringan.
2. Menghitung dan membuat konstruksi dari *crankshaft* menjadi lebih besar kemudian lakukan penyetimbangan.
3. Membuat komponen *flywheel* untuk menambah momen inersia massa.
4. Membuat pelat isolator antara bagian silinder panas dan dingin.
5. Memasang ring piston pada bagian piston.
6. Membuat komponen *guide* pengarah pada batang piston.

6. DAFTAR PUSTAKA

Moch. Muchlis, 2006. Pengembangan Sistem Kelistrikan Dalam Pembangunan Nasional Jangka Panjang.

Kwankaomeng, 2008. Design of a free-piston Stirling engine-pump, Winsconsin: Madison

EIA, 2006. Short Term Energy Outlook. s.l.:s.n.

Widianto, A., "Kondisi Energi Primer Indonesia", Pertemuan Nasional FKPT Teknik Elektro 2007, Yogyakarta, Desember 2007.

Graham, W., 1980. Stirling Engines. New York: Oxford University Press.

Cengel, Y. & Boles, M., 2006. Thermodynamics: An Engineering Approach. 5st penyunt. USA: WCB/McGraw-Hill.

Giancoli, DC. 2014. FISIKA: Prinsip dan Aplikasi. Irzam H, penerjemah. Jakarta (ID). Penerbit Erlangga. Terjemahan dari: PHYSICS: Principles with Application.

Grafitih. (.2001). University physics. New jersy: addition.