

## Rancang Bangun Ruang Bakar Berbahan Bakar Gas pada *Generator Set Berpenggerak Stirling Engine*

Eko Prasetyo, ST., MT.\*<sup>1)</sup>, Ululfathy Izzuramadany<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila

Jl.Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640/ Telp. (021) 7864730 Ext.101 / Fax.(021)  
7270128, 7270128, 7272290

### ABSTRAK

Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar pada generator set yaitu adanya kandungan gas-gas rumah kaca yang mengakibatkan adanya pemanasan global. Salah satu upaya mengurangi pemakaian bahan bakar dan sebagai penggantinya yaitu dengan Mesin Stirling. Mesin Stirling merupakan salah satu media utama dalam pembuatan generator set dan ada beberapa komponen lain yang juga berperan penting terhadap sistem kerja dari mesin stirling ini, salah satunya yaitu ruang bakar. Ruang bakar merupakan komponen yang letaknya dibawah silinder displacer, sebagai tempat pencampuran udara dan bahan bakar, kemudian didistribusikan ke silinder displacer. Metode yang digunakan pada rancang bangun ruang bakar generator set ini yaitu menggunakan metode Vereign Deutcher Ingenieuer (VDI). Pada proses manufaktur menggunakan pemessinan gurdi dan pada proses perakitan menggunakan paku keling. Berdasarkan uji fungsional alat ini cara penggunaannya dengan menggunakan gas 3 kg dan pemantik otomatis sebagai pemicu pembakaran di ruang bakar menghasilkan efisiensi termal sebesar 30,84% sehingga dapat mengeluarkan daya sebesar 17804,21 J.

**Kata kunci:** Bahan bakar gas, Ruang Bakar, Stirling Engine, VDI 2221

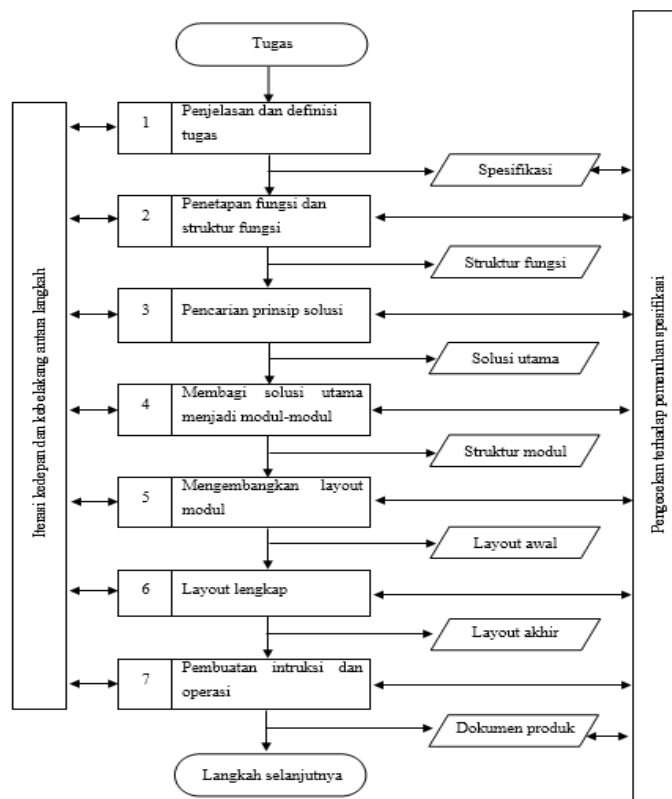
### 1. Pendahuluan

Salah satu dampak penggunaan bahan bakar pada *generator set* mengakibatkan terjadinya pemanasan global yang disebabkan oleh sisa pembakaran yang mengandung gas-gas rumah kaca. Mesin Stirling merupakan salah satu upaya untuk mengembangkan kajian tersebut dan mengurangi penggunaan bahan bakar. Mesin Stirling ini bekerja dengan dasar prinsip termodinamika, dengan menggunakan udara dan gas sebagai fluida kerjanya. Mesin ini ditemukan oleh Robert Stirling pada tahun 1816.

Salah satu keunggulan mesin Stirling yang terkenal adalah kemampuan mereka untuk beroperasi dalam bentuk energi panas apapun. Ini menjelaskan bahwa teknologi Stirling dapat diterapkan baik di tenaga surya atau limbah sektor pemulihan panas. Hal ini sangat menarik untuk dikembangkan, dimana saat ini bahan bakar konvensional sangat mahal dan sulit untuk didapatkan. Disamping itu mesin ini sangat efektif dan mudah dalam pembuatannya, sehingga menjadi pilihan untuk sistem pembangkit listrik di beberapa negara berkembang.

### 2. Metode

Dalam melakukan proses perancangan, metode yang dapat digunakan cukup bervariasi. Secara umum metode perancangan mempunyai beberapa fase, antara lain fase perencanaan, fase perancangan konsep produk, fase perancangan bentuk, fase perancangan detail, fase perancangan manufaktur, fase produksi. Perancangan dengan menggunakan metode VDI 2221 (*Verein Deutcher Ingenieure*) merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan permasalahan dan mengoptimalkan penggunaan material, teknologi dan keadaan ekonomi. Metode ini dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Metode VDI 2221

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Perancangan Konsep

Tahapan ini merupakan tahap pengumpulan informasi dan menguraikan kedalam bentuk syarat-syarat dan bentuk dasar spesifikasi.

Tabel 1. Daftar Spesifikasi Awal

Parameter	Spesifikasi	Demand (D) / Wish (W)
Dimensi	Ukuran yang compact	W
	Dimensi sesuai kebutuhan	D
Gaya	Mampu menahan suhu tinggi	D
	Tidak mudah melekok / bengkok	D
	Sambungan kuat	D
Energi	Udara pencampuran berasal dari lingkungan	D
	Udara pembakaran dihasilkan sesuai kapasitas	D
Material	Mampu menahan temperatur tinggi	D
	Mudah didapat di pasaran lokal	D
	Umur material tahan lama	W
	Tahan terhadap korosi	D
Ergonomi	Desain proporsional	W
Perakitan	Mudah bongkar pasang	W
	Komponen mudah didapat	W
Biaya produksi	Harga komponen dan material murah	W
	Biaya fabrikasi terjangkau	W
Perawatan	Penggantian komponen mudah	D
	Komponen mudah didapat	W

D (*demand*) = Keharusan  
W (*wish*) = Harapan

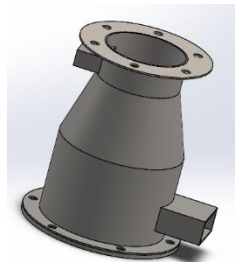
### 3.2. Varian Konsep

Tabel 2. Varian Konsep

No	Prinsip solusi	Varian 1	Varian 2	Varian 3
1	Jenis ruang bakar	Tubular 1-1 Flange	Anular 1-2 Cap	Tubo-anular 1-3
2	Bentuk cover	2-1 Las	2-2 Baut	Baut dan Mur
3	Sambungan cover	3-1 Single	3-2 Double	3-3
4	Jumlah pemantik	4-1	4-2	
5	Posisi pemantik dengan nozzle	5-1 Sejajar	5-2 Tegak lurus	5-3 Keduanya
6	Diffuser	6-1 Lingkaran dan ingot	6-2 Lingkaran dan persegi	
7	Bentuk inlet udara	7-1 Sejajar casing	7-2 Tegak lurus casing	7-3 Berbentuk elbow
8	Bentuk outlet flange	8-1 Lingkaran	8-2 Oval	8-3 Persegi

1      3      2

### 3.3. Varian Terpilih

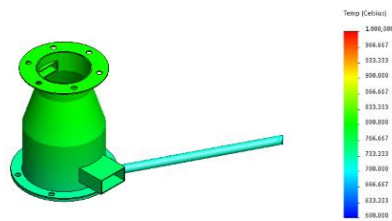


Gambar 2. Varian Terpilih

Penjelasan varian terpilih:

1. Jenis ruang bakar yang digunakan adalah jenis tubular karena menggunakan konsep seperti kompor gas.
2. Sambungan *cover* menggunakan baut agar memudahkan dalam bongkar pasang.
3. Menggunakan *burner cap* yang tersedia di pasaran.
4. Sistem pemantik yang sudah dimodifikasi.

### 3.4. Simulasi dengan Solidwork

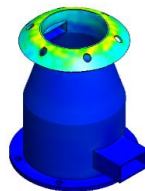


**Gambar 3.** Simulasi Termal Ruang Bakar

**Tabel 3.** *Analysis Properties* Ruang Bakar

<i>Analisis Properties</i>	
Material	: Stainless steel 304
Titik lebur	: 1398 °C
Surface area (mm <sup>2</sup> )	: 367753,77
Mass (grams)	: 4317,37
Volume (mm <sup>3</sup> )	: 533054,94
Center of mass (mm)	: X = 107,57 Y = 67,59 Z = 150,02

#### 1. Simulasi *Stress*, *Displacement*, dan *Strain* Ruang Bakar



**Gambar 4.** Simulasi Ruang Bakar

**Tabel 4.** Hasil Simulasi *Stress*

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von	56,1875 N/m <sup>2</sup>	1,32055e+008 N/m <sup>2</sup>
	Mises Stress	Node: 11932	Node: 10356

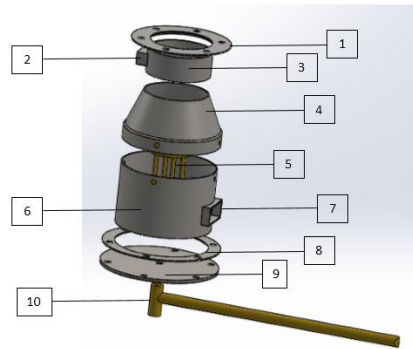
**Tabel 5.** Hasil Simulasi *Displacement*

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant	0 mm	0.223946 mm
	Displacement	Node: 101	Node: 8819

**Tabel 6.** Hasil Simulasi *Strain*

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN:	3,91522e-010	0.000339499
	Equivalent Strain	Element: 5501	Element: 4801

### 3.5. Komponen Ruang Bakar



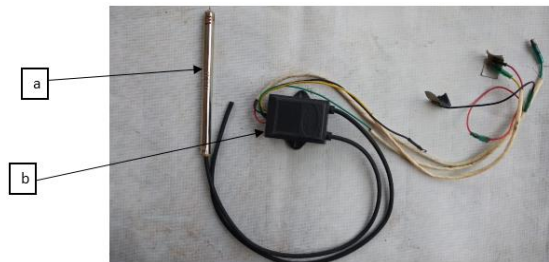
Gambar 5. Daftar Komponen

Tabel 7. Daftar Komponen

No.	Nama	Material	QTY	Keterangan
1	Flange Casing atas	Stainless Steel 304	1	Dibuat
2	Hole Output	Stainless Steel 304	1	Dibuat
3	Casing atas	Stainless Steel 304	1	Dibuat
4	Casing tengah	Stainless Steel 304	1	Dibuat
5	Burner	Kuningan	1	Dibeli
6	Casing bawah	Stainless Steel 304	1	Dibuat
7	Hole Input	Stainless Steel 304	1	Dibuat
8	Flange Casing bawah	Stainless Steel 304	1	Dibuat
9	Flange bawah	ASTM A36	1	Dibuat
10	Pipa gas	Kuningan	1	Dibeli

### 3.6. Sistem Pengapian

Pengapian adalah tahapan penting untuk kelangsungan pembakaran bahan bakar LPG didalam ruang bakar. Pada ruang bakar yang dirancang kali ini akan menggunakan pemantik yang sudah dimodifikasi sebagai media pengapian atau penyalaannya dan menggunakan modulator kompor listrik sebagai distributornya.



Gambar 6. (a) Pemantik yang sudah dimodifikasi dan (b) modul kompor listrik

### 3.7. Pengujian

Berdasarkan data perhitungan termodinamika yang telah dilakukan bersama tim, diperoleh beberapa parameter untuk digunakan pada proses kinerja ruang bakar, sebagai berikut:

1. Temperatur udara masuk ruang bakar 30 °C.
2. Tekanan pada atmosfer 1 atm = 101.325 KPa = 1,01325 x 10<sup>5</sup> Pa

Dengan perambatan panas secara konduksi, maka ruang bakar akan menghasilkan panas yaitu:

Diketahui:

$$K = 15 \text{ W/m } ^\circ\text{C (aluminium)}$$

$$A = 0,063 \text{ m}^2$$

$$T^2 = 510 \text{ } ^\circ\text{C} = 783 \text{ K}$$

$$T^1 = 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$X = 220 \text{ mm} = 0,22 \text{ m}$$

Maka :

$$q = KA (T^2-T^1)$$

(1)

$$= 15 \text{ W/m } ^\circ\text{C} \times 0,063 \text{ m}^2$$

$$= 2061 \text{ W/m}^2$$

Untuk Perhitungan nilai kalor yang masuk ( $Q_1$ ) antara lain:

$$Q_1 = \frac{k.A.\Delta T}{X} t \quad (2)$$

$$Q_1 = \frac{(4).(105 \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}}).(0,063 \text{ m}^2).(480 \text{ K})}{0,22 \text{ m}}$$

$$Q_1 = 57730,9 \text{ J}$$

Dari pengujian diatas, ada beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan untuk menghasilkan efisiensi, diketahui sebagai berikut:

$$p = 2,2 \text{ bar} = 220.000 \text{ Pa}$$

$$T_r = 400 \text{ } ^\circ\text{C} = 673 \text{ K}$$

$$T_t = 700 \text{ } ^\circ\text{C} = 973 \text{ K}$$

Volume ruang bakar yaitu  $391.926,73 \text{ mm}^3$ . Maka perlu dihitung terlebih dahulu perhitungan efisiensi, yaitu:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_r}{T_t}\right) \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{673 \text{ K}}{973 \text{ K}}\right) \times 100\%$$

$$\eta = 30,84\%$$

Dari hasil efisiensi diatas, dapat dihasilkan besarnya nilai  $Q_2$ , yaitu:

$$\eta = \frac{Q_1 \times Q_2}{Q_1} \times 100\% \quad (4)$$

$$30,84 \% = \frac{57730,9 \times Q_2}{57730,9} \times 100\%$$

$$Q_2 = 57730,9 \left(\frac{30,84\%}{100\%}\right) - 57730,9$$

$$Q_2 = 39926,69 \text{ J}$$

Maka:

$$W_{total} = Q_1 - Q_2 \quad (5)$$

$$W_{total} = 57730,9 \text{ J} - 39926,69 \text{ J}$$

$$W_{total} = 17804,21 \text{ J}$$

Untuk menghitung kapasitas ruang bakar itu sendiri adalah:

$$V = \frac{\pi D^2 LN}{4} \quad (6)$$

Keterangan:

$V$  = Kapasitas ruang bakar (cc)

$D$  = diameter silinder ruang bakar (mm)

$L$  = jarak *burner* dengan alas (mm)

$N$  = jumlah silinder

Maka dapat dihitung:

$$V_a = \frac{\pi D^2 LN}{4} \quad (7)$$

$$V_a = \frac{\pi \times 100^2 \times 1 \times 1}{4}$$

$$V_a = 7853,9826 \text{ mm}^3 = 7,8540 \text{ cc}$$

$$V_t = \frac{t(R^2 + Rr + r^2)LN}{3} \quad (8)$$

$$V_t = \frac{80(75^2 + (75 \times 50) + 50^2)1 \times 1}{3}$$

$$V_t = 316666,6667 \text{ mm}^3 = 316,6667 \text{ cc}$$

$$V_b = \frac{\pi D^2 L N}{4} \quad (9)$$

$$V_b = \frac{\pi \times 150^2 \times 70 \times 1}{4}$$

$$V_b = 1237002,107 \text{ mm}^3 = 1237,0021 \text{ cc}$$

Maka total kapasitas pada ruang bakar ini yaitu:

$$V_{total} = V_a + V_t + V_b \quad (10)$$

$$V_{total} = 7,8540 \text{ cc} + 316,6667 \text{ cc} + 1237,0021 \text{ cc}$$

$$V_{total} = 1561,5228 \text{ cc}$$

Untuk tekanan pada ruang bakar dapat dihitung menggunakan rumus:

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{V} \quad (11)$$

Diketahui:

$$N \text{ (banyak partikel gas)} = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}$$

$$m \text{ (massa dari gas)} = 3 \text{ kg}$$

$$v \text{ (kecepatan gerak partikel gas)} = \text{belum diketahui}$$

$$V \text{ (volume gas)} = \text{belum diketahui}$$

$$p \text{ (tekanan gas)} = 2,2 \text{ bar} = 2,1712 \text{ atm} = 2,1712 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Hitung terlebih dahulu kecepatan gerak partikel gas, yaitu:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

Diketahui:

$$k \text{ (tetapan Boltzman)} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$T \text{ (temperatur ruang bakar)} = 400 \text{ }^\circ\text{C} = 673 \text{ K}$$

$$m \text{ (massa dari gas)} = 3 \text{ kg}$$

maka dapat dihitung:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (12)$$

$$v = \sqrt{\frac{3(1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(673 \text{ K})}{3 \text{ kg}}}$$

$$v = 9,6371 \times 10^{-11} \text{ m/s}$$

Jadi volume gas yaitu:

$$V = \frac{1}{3} \times \frac{Nmv^2}{p} \quad (13)$$

$$V = \frac{1}{3} \times \frac{(6,02 \times 10^{23})(3)(9,6371 \times 10^{-11})^2}{2,1712 \times 10^5}$$

$$V = 24,5245 \text{ m}^3$$

Sehingga tekanan pada ruang bakar yaitu:

$$p = \frac{1}{3} \times \frac{Nmv^2}{V} \quad (14)$$

$$p = \frac{1}{3} \times \frac{(6,02 \times 10^{23})(3 \text{ kg})(9,6371 \times 10^{-11} \text{ m}^2)^2}{24,5245 \text{ m}^3}$$

$$p = 227,9760 \text{ N/m}^2$$

#### 4. Simpulan

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan ruang bakar pada *Generator Set* berbahan bakar gas berpenggerak *Stirling Engine*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis ruang bakar ini yang digunakan adalah jenis turbular atau single can, karena tanpa kompresor dan mengikuti gaya gravitasi.
2. Proses perakitan ruang bakar menggunakan paku keling.
3. Ruang bakar dengan material *stainless steel* 304 sangat baik, dikarenakan memerlukan waktu yang cepat untuk proses pendinginan pada saat setelah beroperasi.
4. Proses pengujian masih mengalami beberapa kendala dan masalah diantaranya:
  - Pada saat *start* diperlukan waktu beberapa detik untuk mencapai suhu yang diinginkan, agar proses pembakaran berlangsung secara sempurna dan suhu yang dihasilkan bertekanan tinggi.
  - Proses pemasangan posisi pemantik yang telah dilakukan yaitu dengan memposisikan pemantik didalam *casing* ruang bakar sudah berhasil untuk melakukan proses pembakaran awal dengan cepat, hanya saja bodi pemantik akan lebih cepat rusak dikarenakan temperatur didalam ruang bakar yang sangat tinggi.
5. Hasil dari efisiensi ruang bakar ini sebesar 30,84%, sehingga dapat mengeluarkan daya sebesar 17.804,21 J. Alat ini berfungsi sesuai kinerjanya meskipun masih banyak kekurangan dalam segi efisiensi termalnya.

#### Daftar Pustaka

- Djojodihardjo, D. (1985). *Dasar-dasar Termodinamika Teknik*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Harsokoesoemo, H. D. (2014). *Pengantar Prancangan Teknik Edisi 2*, Bandung.
- Kreith, Frank. (1997). *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas edisi ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Olie, Dadi. (2015). *Pengenalan Dasar Solidworks*.
- Snyman, H. S. J. M. (2008). "Design Analysis Methods for Stirling Engines." *Journal of Energy in Southern Africa* 19 (3). [www.energi.lipi.go.id](http://www.energi.lipi.go.id), Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Energi Aditif di Indonesia