

## PENGARUH VOLUME RUANG BAKAR TERHADAP KINERJA MESIN PULSE JET

Lambertus Dwi Setiawan, ST

Universitas Gadjah Mada  
JL Grafika No. 2, Yogyakarta 55281  
lambertusdwisetiawan@yahoo.com

### Abstrak

Mesin pulse jet adalah sejenis mesin jet yang pembakarannya berlangsung secara intermittent, sesaat-sesaat dan dengan frekuensi tertentu. Mesin pulse jet yang di rancang pada penelitian ini sangat sederhana menggunakan tipe *valveless* (tanpa katub), mudah dibuat dan biaya pembuatannya murah. Tipe mesin pulse jet yang dipilih ini adalah langkah awal dalam pengembangan desain maupun parameter-parameter lain yang dipakai dalam mesin *pulse jet* dengan tingkat kerumitan yang lebih tinggi lainnya. Hasil pengujian mesin *valveless pulsejet* ini cocok sekali dipergunakan untuk tugas-tugas yang berakhir dengan rusaknya mesin sehingga sangat tepat dipakai sebagai propulsi jelajah berpadu (*guided cruise missile*) dan pesawat untuk sasaran latihan tembak (*target drone*). Batasan masalah dalam penelitian mesin pulse jet ini difokuskan pada pengaruh volume ruang bakar terhadap kinerja mesin.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan desain mesin pulse jet yang memiliki ketahanan terhadap tekanan dan suhu yang tinggi. Bahan yang digunakan terbuat dari *stainless steel*. Desain yang digunakan memiliki konsep yang sederhana tanpa menggunakan katub (*valveless*) dimana mengacu pada penelitian terdahulu yaitu mesin pulse jet *chinese valveless* yang mengalami modifikasi desain diantaranya tidak menggunakan diffuser dan dimensional. Perbandingan volume ruang bakar yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah 194,68 cm<sup>2</sup>, 243,35 cm<sup>2</sup> dan 292,02 cm<sup>2</sup>. Sedangkan panjang pipa pembuangan adalah 70 cm dengan diameter 2,34 cm. Langkah ini digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian yang bervariasi tergantung karakteristik parameter yang diinginkan. Hal tersebut dilakukan untuk dapat menentukan tingkat frekuensi penyalaan yang maksimal dalam pengujian ini.

Dari pengujian yang dilakukan dengan semakin besar volume ruang bakar, semakin kecil frekuensi penyalaan yang dihasilkan. Frekuensi penyalaan ini berbanding lurus dengan hasil gaya dorong (*thrust*) yang diperoleh.

**Keywords:** *pulse jet*, *valveless*, volume ruang bakar, frekuensi penyalaan.

### Pendahuluan

Penyelidikan terhadap *pulse combustion engine* pada awalnya dipelopori oleh Advanced Research Project Agency (DARPA) untuk mengeksplorasi skalabilitas dari mesin tersebut, terutama propulsi Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Parameter desain dari pulse jets ini tidak secara keseluruhan diteliti dan berbagai persamaan belum dikembangkan sebagai skala untuk desain jets untuk dapat dijadikan pedoman penelitian selanjutnya.

Indonesia sekarang sedang memulai untuk mengembangkan alat-alat pertahanan. Salah satunya

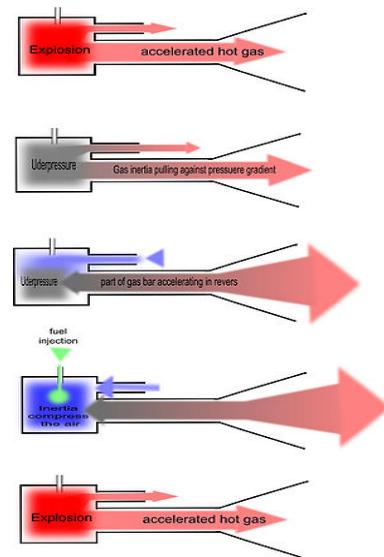
peluru kendali. Dalam pengembangan peluru kendali untuk sasaran di udara, diperlukan suatu sasaran yang bisa terbang sebagai sarana untuk pengetesan ketelitian kendali yang dikenal sebagai target drone. Salah satu syarat dari *target drone* ini adalah harganya yang murah. Karena itu, penggunaan mesin ini untuk propulsi *target drone* tentunya akan sangat bermanfaat. Target drone dengan mesin pulse jet akan lebih murah dibanding pesawat serupa dengan mesin konvensional. Sebagai propulsi peluru berpadu tentunya perlu dipelajari lebih mendalam lagi karena tingkat kebisingan yang tinggi dari mesin ini akan merupakan kelemahan. Walaupun demikian

penggunaan mesin ini sebagai penggerak prototipe peluru berpadu bukan hal yang mustahil, terutama untuk tujuan pengetesan sistem kendalinya.

## Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Mesin *valveless* pulse jet memiliki bagian-bagian utama yaitu: pipa buang, pipa isap, rang bakar, *injector* bahan bakar dan busi. Cara kerjanya dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Bahan bakar dialirkan secara kontinyu ke dalam ruang bakar. Penyalaan awal dilakukan dengan busi. Untuk mempermudah start, pada awalnya udara bias dihembuskan masuk ke kompresor. Pada saat pembakaran terjadi di dalam ruang bakar terbentuk gas panas bertekanan tinggi (Ogorelec, 2004).
- Gas ini akan menghembus keluar melalui dua arah. Sebagian besar akan melalui lubang buang dan sebagian lagi melalui lubang isap. Setelah gas mengembang dan mengalir keluar, tekanan di dalam ruang bakar akan turun. Karena efek inersia, aliran gas tidak bisa berhenti dengan mendadak sehingga penurunan tekanan akan berlangsung terus walaupun tekanan dalam ruang bakar sudah lebih rendah dari tekanan udara luar.
- Proses ini tidak berlangsung lama, aliran akan segera membalik dan udara akan segera masuk menuju ruang bakar melalui 2 saluran tersebut diatas. Udara akan mengalir melalui saluran isap dengan cepat mengisi ruang bakar dan bercampur dengan bahan bakar. Tekanan di dalam ruang bakar akan cepat naik. Kenaikan ini hanya rendah saja, paling tinggi tekanan di dalam ruang bakar hanya mencapai 1,2 kali tekanan atmosfer (anonym, 2012). Di dalam mesin turbojet tekanan di dalam ruang bakar bisa mencapai 30 kali tekanan atmosfer.
- Saluran pembuangan dibuat lebih panjang dari saluran isap. Saat terjadi pembalikan aliran gas panas belum seluruhnya keluar dari saluran pembuangan. Sisa gas ini terdorong kembali masuk ke dalam ruang bakar dan menyalakan bahan bakar yang baru saja terisap masuk melalui saluran isap dan siklus akan berulang kembali. Dengan adanya gas panas yang berperan sebagai sumber penyalaan tersebut, busi tidak diperlukan lagi.



Gambar 1.1 Mekanisme Valveless Jet Engine

Penelitian ini dilakukan dengan membangun alat dan melakukan pengujian. Model yang dipilih dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa modifikasi dimana diantaranya dengan tidak memakai diffuser dan perubahan dimensi.

## Prinsip Kerja Mesin Pulse Jet

Ukuran ini akan menentukan frekuensi penyalaan mesin dan frekuensi ini harus direncanakan sedemikian agar penyalaan bisa berlangsung terus-menerus dengan stabil. Frekuensi penyalaan berkaitan dengan karakteristik akustik dari pipa. Menurut Anderson etall (2008) dan Tao (2007) pipa isap berkaitan langsung dengan frekuensi Helmholtz, resonator.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{VL}} \quad 1)$$

dan pipa pembuangan adalah seperempat panjang gelombang frekuensi alami:

$$f = \frac{c}{4L} \quad 2)$$

dimana: c : kecepatan suara, s : luas penampang lubang, V : volume ruang, L : panjang pipa

Rasio dari Panjang/Diameter: 15 – 17, model *pulse jet engine* Argus (V1) : L/D = 8,7. Semakin rendah rasio L/D maka akan lebih mereduksi refleksi shockwave yang terjadi. Apabila model pulse jet memiliki rasio L/D yang lebih tinggi agar menjaga kestabilan resonansi dan menurunkan frekuensi resonansi (Fredrik Westberg, 2000).

Bahan yang dipakai untuk pembuatan alat peraga *Pulse Jet Engine*:

1. Alummunium (diameter 1", 2",  $\frac{1}{2}$ ");
2. Plat untuk dudukan *engine* (berbagai ukuran).

Perlengkapan yang dibutuhkan untuk pembuatan *Pulse Jet Engine*:

1. Bahan Bakar: Tabung LPG, regulator, selang-selang;
2. Rangkaian spark plug: Busi, rangkaian modifikasi 555, coil, accumulator, kabel-kabel.

Langkah-langkah pengukuran:

1. Persiapan perlengkapan mesin pulse jet sesuai dengan desain yang dibuat dengan meghubungkan dengan saluran masuk bahan bakar berupa pipa dengan ukuran  $\frac{1}{8}$  inch. Saluran masuk distel agar bahan bakar dan udara dapat bercampur dengan komposisi yang tepat untuk proses pembakaran di ruang bakar.
2. Bahan bakar berupa gas LPG dapat destel menggunakan kran dan diukur dengan *pressure gage*. Antara tabung gas LPG dan saluran masuk bahan bakar dihubungkan dengan selang.
3. Untuk pengapian menggunakan busi yang dipasang pada *head* dari ruang bakar. Penyalaan untuk pengapian busi menggunakan modifikasi rangkaian *spark pulg* dengan dihubungkan pada coil dan aki.
4. Untuk mengukur gaya dorong dipakai alat ukur berupa timbangan ukur yaitu berupa timbangan manual atau elektronik. Dalam pengujian ini menggunakan timbangan elektronik (*portable electronic scale*). Alat ini dihubungkan dengan dudukan mesin pulse jet dan pangkal desainnya tersambung dengan rel. Dimana dudukan mesin pulse jet dapat bergerak maju mundur yang akan menarik timbangan elektronik sehingga terbaca skala ukurnya.
5. Untuk pengukuran frekuensi penyalaan menggunakan Frekuensi Pulse Software yang dihubungkan dengan ruang bakar pada mesin pulse jet sedangkan untuk pengukuran intensitas kebisingan menggunakan SPL.

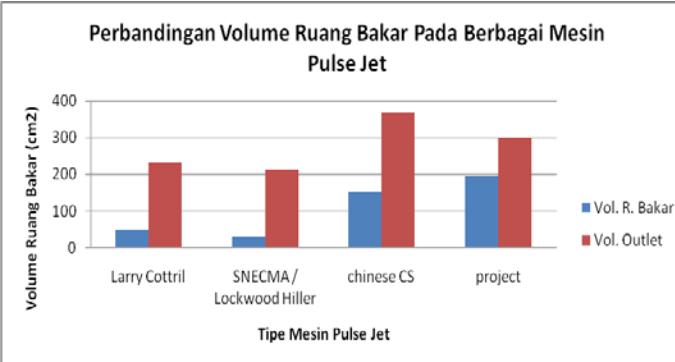
Cara diatas dipakai sebagai ilustrasi singkat dalam melakukan langkah-langkah pengujian mesin pulse jet pada tahap ini.

Dalam pemilihan desain mesin pulse jet berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

Tabel 1.1 perbandingan antara volume bahan bakar dan volume outlet berbagai penelitian *pulse jet engine*

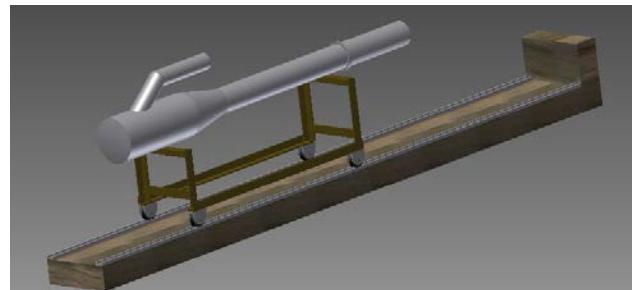
Mesin Pulse Jet	Vol. R. Bakar (cm <sup>2</sup> )	Vol. Outlet (cm <sup>2</sup> )
Larry Cottril	47.96	230.63
SNECMA/ Lockwood Hiller	27.68	212.85
chinese CS	150.52	366.78
project	194.68	300.88

Skema grafik perbandingan volume ruang bakar dalam peninjauan untuk desain mesin pulse jet dapat dilihat sebagai berikut:



Grafik 1.1 Grafik perbandingan antara volume ruang bakar dan volume outlet berbagai penelitian *pulse jet engine*

Dengan pertimbangan biaya dan konstruksi yang sederhana maka dipilih model Chinesse CS sebagai referensi. Berikut dapat dilihat hasil gambar hasil desain mesin pulse jet pada pengujian kali ini:



Gambar 1.1 Desain pengujian untuk *pulse jet engine*

## Hasil dan Pembahasan

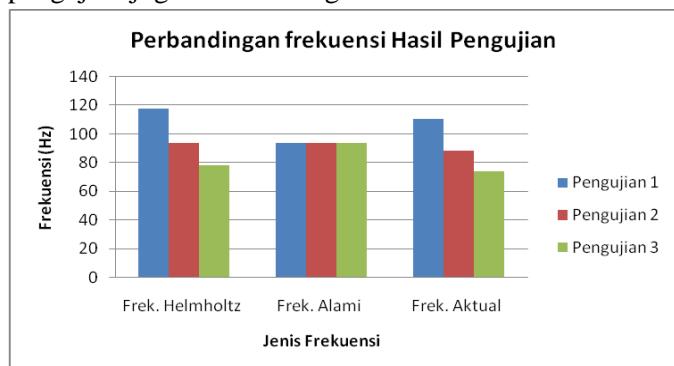
Dalam Pengujian yang dilakukan dengan variasi volume bahan bakar yaitu: 194,68 cm<sup>2</sup>, 243,35 cm<sup>2</sup> dan 292,02 cm<sup>2</sup>. Sedangkan panjang pipa pembuangan adalah 70 cm dengan diameter 2,34 cm. Data yang

dapat diperoleh pada tabel 1.2 sebagai berikut:

Tabel 1.2 Pengujian Frekuensi Helmholtz, Frekuensi Alami dan Frekuensi Aktual.

Pengujian	Frek. Helmholtz (Hz)	Frek. Alami (Hz)	Frek. Aktual (Hz)	Vol. R. Bakar (cm <sup>2</sup> )
Pengujian 1	117.25	93.75	110.50	194.68
Pengujian 2	93.80	93.75	88.00	243.35
Pengujian 3	78.17	93.75	74.00	292.02
Referensi	247.72	178.57	0	150.52

Skema grafik perbandingan antara frekuensi helmholtz, frekuensi alami dan frekuensi aktual pada 3 proses pengujian juga adalah sebagai berikut:



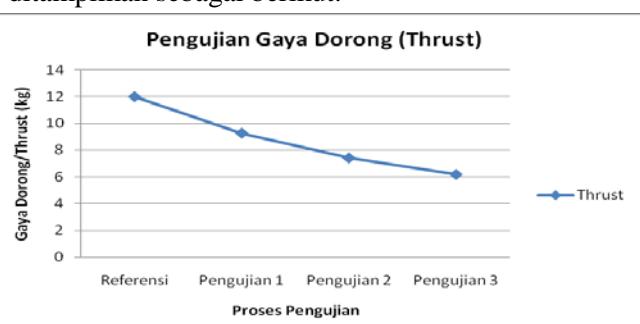
Grafik 1.2 Grafik perbandingan antara frekuensi Helmholtz, frekuensi alami dan frekuensi actual pada pengujian *pulse jet engine*

Pada pengujian gaya dorong (*thrust*) dilakukan pada 3 proses pengujian yang dapat dilihat Pada table 1.3 sebagai berikut:

Tabel 1.3 pengujian gaya dorong (*thrust*)

Pengujian	Thrust (kg)
Referensi	12
Pengujian 1	9.27
Pengujian 2	7.42
Pengujian 3	6.18

Skema grafik pengujian gaya dorong dapat ditampilkan sebagai berikut:



Grafik 1.3 Pengujian Gaya Dorong (*Thrust*)

Dari pengujian yang dilakukan dengan semakin besar volume ruang bakar, semakin kecil frekuensi penyalaan yang dihasilkan. Frekuensi penyalaan ini berbanding lurus dengan hasil gaya dorong (*thrust*) yang diperoleh. Hal ini ditandai dengan perubahan volume bahan bakar yang semakin besar tetapi ukuran pipa pembuangan tetap. Dan pada saat mencapai titik tertentu mesin pulse jet tidak dapat dijalankan.

## Kesimpulan

Dalam proses pengujian saat ini Pengaruh dimensional sangat besar bagi keberhasilan alat uji mesin pulse jet. Pengujian saat ini dapat dijadikan standar bagi pengembangan alat uji mesin pulse jet yang memiliki tingkat kesulitan dan kerumitan lebih tinggi. Dengan konsep yang sederhana ini memudahkan dalam pembuatan mesin pulse jet. Akan tetapi parameter yang ada masih perlu ditambahkan lagi untuk pengembangannya.

Hasil yang diperoleh dalam proses pengujian ini masih belum sampai pada tingkat dimana mesin pulse bekerja maksimal. Masih diperlukan penelitian lebih lanjut.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, orang tua, dosen pembimbing dan teman-teman yang telah membantu dalam kesuksesan pengujian ini.

## Nomenklatur

f	frekuensi (Hz)
c	kecepatan suara (m/s)
s	luas penampang lubang (m <sup>2</sup> )
V	Volume ruang bakar (m <sup>3</sup> )
L	Panjang pipa buang (m)
D	Diameter pipa buang (m)

## Subscripts

vol	Volume
frek	Frekuensi

**Referensi**

- Anderson, Ryan et all, "Final Report : Design and Build of Pulsejet UAV", School of Mechanical Engineering, University of Adelaide (2008)
- Foa, J. V., "Elements of Flight Propulsion", John Wiley & Sons, New York (1960)
- Goebel, Greg, "The V-1 Flying Bomb", <http://www.axishistory.com/index.php?id=1362>, (Agustus 2005)
- Gwynn, John, "The History of the Pulse Jet ", <http://waterocket.explorer.free.fr/v1flyingbomb.htm> (Agustus 2005)
- Lockwood, R. M., "Pulse reactor lift-propulsion system development program, final report", Advanced Research Division Report No. 508, Hiller Aircraft Company (Maret 1963)
- Ogorelec, Bruno, "Valveless Pulsejet Engines 1.5 (a historical review of valveless pulsejet designs)" (2004)
- Mcalley, CT, "Liquid Fuel Development of a Pulsejet Engine", North Carolina State University (2006)
- Reynst, F. H., "Pulsating firing for steam generators", Pulsating Combustion, M. W. Thring, ed., Pergamon Press, New York (1961)
- Tao, G. "Numerical Simulations of Pulsejet Engines" North Carolina State University (2007)
- Westberg, Fredrik. Report 1.0 : "Inside the pulse jet engine"(2000)  
[www.pulsejetengine.com](http://www.pulsejetengine.com)
- Zaloga, Steven, "V-1 Flying Bomb 1942-52 : Hitler's Infamous 'Doodlebug' ", Osprey Publishing (Januari 2005)
- Zamyatina, L. I., The centenary of N. E. Zhukovsky's memoir "*On the motion of a rigid body with cavities filled by a homogeneous fluid*", Istor. Metodol. Estestv. Nauk (1986)