

## Pengaruh Saluran *Inlet* dan *Outlet* terhadap *Thrust* dan Kebisingan Mesin *Valveless Pulse Jet*

Ahmad Shokib<sup>1</sup>, Danang Dwi Saputro<sup>1</sup>, Dwi Widjanarko<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

Sejarah Artikel  
Diterima 02 10 2021  
Disetujui 11 10 2021  
Dipublikasikan 21 10 2021

#### Keywords:

mesin *valveless pulse jet*, variasi *outlet*, *thrust*, dan kebisingan.

### Abstrak

*Pulse jet* adalah mesin jet tanpa komponen yang bergerak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui *thrust* dan kebisingan terbesar mesin *valveless pulse jet* dengan volume ruang bakar  $668,66 \text{ cm}^3$ , inlet berukuran standar  $2,54 \text{ cm}$  dengan panjang  $35,56 \text{ cm}$  serta variasi outlet berukuran standar  $2,54 \text{ cm}$ ;  $5,08 \text{ cm}$  dan  $1,52 \text{ cm}$  dengan perbandingan udara dan gas 1:1 sampai 1:6. Teori yang mendasari antara lain: Efek *Kadenacy*, akustik dan elemen resonansi, gelombang dan arus serta siklus lenoir. Bahan yang digunakan plat dan pipa *stainless steel* dengan ketebalan  $0,08 \text{ cm}$ . Bahan bakar gas dan udara diinjeksikan ke dalam ruang bakar, kemudian kelistrikan dihidupkan dan busi memercikan api, terjadilah proses kerja mesin yang menghasilkan daya dorong, *thrust* pada mesin jet terjadi karena adanya perubahan momentum gas yang mengalir melalui mesin tersebut. Mesin standar menghasilkan *thrust* dan kebisingan tertinggi  $0,491 \text{ N}$  dan  $60 \text{ dB}$ , variasi I  $0,588 \text{ N}$  dan  $63 \text{ dB}$ , serta variasi II  $0,442 \text{ N}$  dan  $60 \text{ dB}$ . Mesin variasi I paling sempurna pembakarannya dan suhu mesin paling rendah.

### Abstract

Unlike common jet engine that had numerous moving components, pulse jet has no moving component. The aim of this study is to examine thrust and noise of valve less pulse jet engine with a volume of combustion chamber  $668.66 \text{ cm}^3$ , inlet standard size  $2.54 \text{ cm}$  with a length of  $35.56 \text{ cm}$  and variations in standard size outlets  $2.54 \text{ cm}$ ,  $5.08 \text{ cm}$  and  $1.52 \text{ cm}$ . with air and gas comparison 1: 1 to 1: 6. Basic theories include Cadency effects, acoustics and resonance elements, waves and currents and Lenoir cycles. The material used is stainless steel plate and pipe with a thickness of  $0.08 \text{ cm}$ . First gas and air fuel are injected in the combustion chamber, spark plugs ignited spark fire and the engine process produces thrust. The thrust on the jet engine occurs because there is a change in the momentum of the gas flowing through the engine. The standard engine produces the highest thrust and noise  $0.491 \text{ N}$  and  $60 \text{ dB}$ , variations I  $0.588 \text{ N}$  and  $63 \text{ dB}$ , as well as variations II  $0.442 \text{ N}$  and  $60 \text{ dB}$ . The variation I is the most perfect engine combustion and the lowest engine temperature.

## PENDAHULUAN

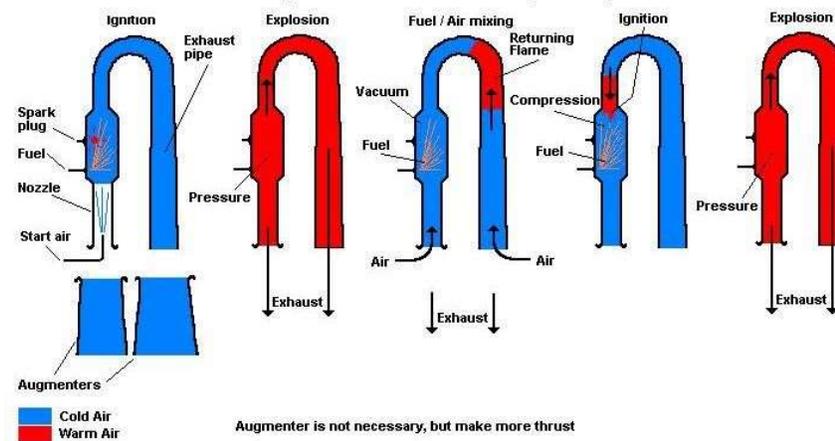
Mesin jet sudah menjadi mesin penopang utama mobilitas transportasi dan industri dunia, mesin jet tergolong mesin propulsi yang menghasilkan daya dorong, thrust pada mesin jet terjadi karena adanya perubahan momentum gas yang mengalir melalui mesin tersebut. Mula-mula udara dari luar masuk kedalam ruang bakar dan bercampur dengan bahan bakar kemudian dibakar. Gas hasil pembakaran kemudian keluar melalui nozel dengan kecepatan yang relatif tinggi, makin tinggi perbedaan momentum antar gas masuk dan keluar mesin, makin besar pula thrust yang dihasilkan.

Mesin jet tergolong mesin yang mahal karena kerumitannya, banyak komponennya, daya dorongnya yang tinggi dan bahannya yang mahal sehingga hanya bisa dibuat segelintir perusahaan saja. Padahal 100 tahun lalu ada seorang ilmuwan yang menemukan mesin jet sederhana yaitu mesin bernama *Pulse jet* (Karthick, 2014;56). Mesin tersebut tidak memiliki komponen yang bergerak dan bisa dibuat secara dengan bahan yang mudah didapatkan di sekitar kita. Namun, karena tingkat kebisingannya tinggi, efisiensi yang rendah dan umur operasional yang pendek, mesin ini tidak menarik secara komersial dan hanya dipergunakan untuk tujuan militer dan hobi aeromodeling (Anderson, 2008;7).

*Pulse jet engine* adalah sejenis mesin jet yang konstruksinya sangat sederhana dan pembakarannya berlangsung secara *intermittent* (hidup-mati-hidup-mati), sesaat-sesaat dengan frekuensi tertentu. Dari pancaran gas buang yang *intermittent* ini dapat dihasilkan thrust untuk menggerakkan sesuatu. Ada 2 jenis mesin *pulse jet* yaitu *valved pulse jet* dan *valveless pulse jet*.

*Valved pulse jet* mempunyai katub-katub yang dipergunakan untuk mengatur aliran gas dan mengarahkan seluruh gas panas menuju pipa pembuangan. Kekurangan dari mesin jet ini adalah katupnya cepat rusak oleh suhu dan getaran tinggi di dalam ruang bakar serta tidak bisa dipaksa maksimal pembakarannya, sehingga varian tanpa katub lebih menarik.

Tujuan penelitian ini dalam kaitannya dengan perubahan desain mesin *valveless pulse jet* adalah mengetahui besarnya thrust dan kebisingan mesin *valveless pulse jet* dengan inlet ukuran standar 2,54 cm dan outlet ukuran standar 2,54 cm dengan panjang 35,56 cm, variasi pembesaran ukuran ujung outletnya berdiameter 5,08 cm, variasi pengecilan ukuran ujung outletnya berdiameter 1,52 cm.



Gambar 1. Prinsip mesin valveless pulsejet (Karthick, 2014: 57)

Mesin *valveless pulse jet* memiliki bagian-bagian utama yaitu: pipa buang, pipa isap, rang bakar, *injector* bahan bakar dan busi. Cara kerjanya diilustrasikan pada gambar 1. Bahan bakar dialirkan secara kontinyu ke dalam ruang bakar. Penyalaan awal dilakukan dengan busi. Untuk mempermudah start, pada awalnya udara bias dari kompresor dihembuskan keruang bakar. Pada saat pembakaran terjadi di dalam ruang bakar terbentuk gas panas bertekanan tinggi (Callay, 2006 dan Patel,2013;3).

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 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, tekanan tertinggi di dalam ruang bakar hanya 1,2 kali tekanan atmosfer. 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 penyalakan tersebut, busi tidak diperlukan lagi.

Dalam membangun desain mesin yang sebenarnya, terlebih dahulu diperhatikan beberapa dasar teori antara lain: Efek Kadenacy, akustik dan elemen resonansi, gelombang dan arus dan siklus lenoir. Salah satu aspek yang perlu ditekankan adalah teori akustik dan mekanika fluida yangmana mendukung konsep utama dari mesin pulse jet. Dimana teori ini akan membantu dalam memahami gambaran konsep pulse jet secara sederhana dari mekanisme yang sangat kompleks dalam mesin ini.

### **Efek Kadenacy**

Dalam siklus kerjanya, inersia bergerak terus menerus mendorong gas pembakaran keluar dari mesin dan menyebabkan tekanan sepanjang saluran ruang bakar turun di bawah tekanan atmosfer. Seketika udara luar mendorong untuk mengisi kevakuman yang terjadi. Momentum sangat cepat dikarenakan adanya gabungan gas yang mengalir melalui dua port yang menyebabkan udara di dalam ruang bakar meningkat tekanannya di atas atmosfer sesaat sebelum pengapian terjadi (Ogorelec, 2005;8).

Pada prosesnya terjadi inersia, siklus terus berlanjut yang menyebabkan gas hasil pembakaran serta gas campuran bahan bakar dan udara meregang bertemu di ruang bakar. Akibatnya, gas tersebut memiliki sifat elastis seperti karet. Inilah yang disebut Efek Kadenacy. Karakter elastis gas digunakan untuk menyimpan sebagian api sisa pembakaran yang digunakan untuk siklus pembakaran berikutnya. Energi yang tersimpan memiliki perbedaan tekanan (*partial vacuum*) membuat aspirasi (penggantian gas yang terbakar dengan campuran bahan bakar dan udara murni) mungkin terjadi. (Ogorelec, 2005;8)

### **Akustik**

Proses *input* mesin ini memiliki hubungan erat dengan akustik. Indikasi yang terjadi adalah adanya resonansi akustik balik dengan ayunan tekan dimana timbulnya ledakan di ruang bakar menghasilkan gelombang tekan yang masuk ke tabung mesin dan udara di dalam tabung mesin dilustrasikan seperti bunyi lonceng. Gelombang bertekanan mengalir ke atas dan bawah tabung (Ogorelec, 2005;8).

### **Elemen Resonansi**

Dari segi akustik, ruang bakar adalah tempat dari pusat tekanan terbesar, yang berarti bahwa gerak gas paling terbatas. Ruang ini menjadi node kecepatan dan titik pusat tekanan. Ujung-ujung luar dari *port intake* dan *exhaust* merupakan tempat dari impedansi terendah. Tempat ini memberikan gerakan gas maksimum dan perubahan kecepatan terbesar. Dengan kata lain menjadi titik pusat kecepatan. Ayunan tekanan yang minimal terjadi pada ujung pipa yang menjadikan node tekanan (titik tekanan yang menimbulkan suara) (Ogorelec, 2005;8).

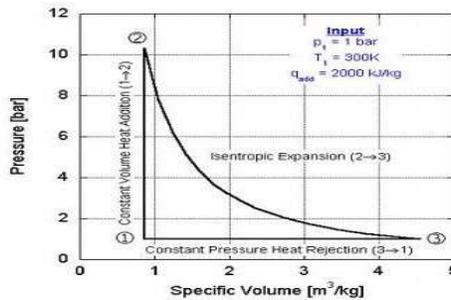
### **Gelombang dan Arus**

Aliran fluida yang terjadi memiliki massa dan inersia. Dapat dilihat bahwa gelombang tekan dipisahkan dari aliran dalam desain mesin valveless pulse jet ini memiliki fitur port dengan arus *irreversibel* (misalnya saluran masuk tidak berfungsi untuk membantu kinerja saluran buang). Dalam port tersebut tekanan dalam gelombang akan bergerak dengan arus searah. Dapat dijelaskan bahwa mesin pulse jet

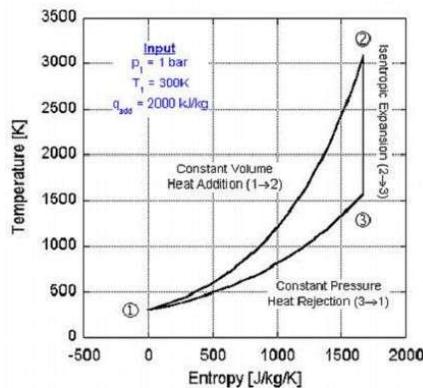
mengikuti aliran itu sendiri dimana Kadenacy seperti siklus kompresi yang didukung oleh proses pembakaran pada ruang bakar dan dibantu oleh panas konveksi. Dalam siklus ini sangat erat hubungannya dengan fenomena akustik sehingga hukum-hukum akustik diberlakukan (Ogorelec, 2005;9).

**Siklus Lenoir**

Siklus *Lenoir* adalah siklus termodinamika yang paling ideal yang sering digunakan untuk memodelkan mesin *pulse jet*. Mesin jet ini dipercaya sebagai yang pertama secara komersial menghasilkan mesin pembakaran *internal*. Tidak adanya proses kompresi dalam desain mengarah ke panas yang lebih rendah efisiensi daripada siklus Otto dan Diesel yang lebih luas dikenal (Nikhil,2014;1). Tekanan - Volume dan Suhu Tertentu - Entropi pada diagram siklus *Lenoir* dijelaskan pada gambar 2 dan 3. Dimana Proses 1-2 adalah proses panas masuk pada volume konstan (Isokhorik), proses 2-3 adalah panas keluar (Isotropik/Adiabatik), dan proses 3-1 adalah panas masuk kembali tekanan tetap (Isobarik)



Gambar 2. Siklus Lenoir diagram P-V. (Nikhil,2014;2)



Gambar 3. Siklus Lenoir diagram T-S. (Nikhil,2014;2)

**Thrust Mesin Valveless Pulse Jet**

Rasio volume *duct* terhadap panjang efektif adalah berbanding lurus terhadap Thrust statik maksimum:

$$\frac{V}{L} = 0,00316 F$$

Dimana: V : volume ruang, L: panjang *pulse jet* (m)

Karena pengujian thrustnya pada bidang datar vertikal pada batang plat, maka rumusnya sebagai berikut:

$$F = W/S \quad (N)$$

Didapat dari rumus

$$W = F.S \quad (N) \quad (\text{Winarno dan Karnowo, 2008;12}) \quad W = m.g \quad (N)$$

dan

- dimana  $F = \text{thrust} \quad (N)$   $m = \text{masa benda} \quad (kg)$
- $W = \text{usaha gaya berat} \quad (N)$   $g = \text{gaya gravitasi} \quad (m/s^2)$
- $S = \text{jarak} \quad (m)$

### Intensitas Kebisingan (*Noise*) Mesin *Valveless Pulse Jet*

Intensitas kebisingan yang ditimbulkan dari kerja mesin *pulse jet* terjadi karena suhu gas buang yang meningkat dan kecepatan yang meningkat pula. Semakin besar kecepatan aliran fluida gas buang dan udara ambient maka semakin besar pula tingkat kebisingan yang ditimbulkan. Batasan umum untuk tingkat kebisingan tempat kerja yang diterima adalah kurang dari 85 dB (Dewanti,2015;230).

Kecepatan sonik disebut juga kecepatan suara yang merupakan kecepatan perambatan suara pada media tertentu, dimana nilainya berbeda-beda untuk masing-masing media dan dapat dihitung dengan rumus  $C = \sqrt{kRT}$

Perbandingan antara kecepatan sumber bunyi dengan kecepatan suara didefinisikan sebagai bilangan *Mach* (M) yang ditujukan untuk memberikan parameter kecepatan suatu benda (v) terhadap kecepatan suara yang dilaluinya (c), dan dirumuskan sebagai berikut :

$$M = \frac{v}{c}$$

Hipotesa dari penelitian ini adalah:

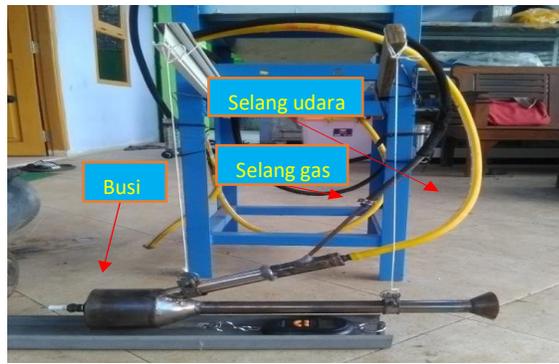
- Thrust* dan kebisingan disebabkan ledakan dari terbakarnya campuran bahan bakar dan oksigen.
- Semakin besar ruang bakar maka asupan bahan bakar dan oksigennya semakin banyak sehingga menghasilkan tekanan dorongan dan suara yang semakin besar pula.
- Exhaust* yang kecil mengakibatkan tekanan dalam ruang bakar semakin besar dan menghasilkan daya dorong yang besar karena melewati luas penampang yang sempit sehingga daya dorong gas keluar semakin cepat.
- Exhaust* yang kecil mengakibatkan suara kebisingan semakin kecil, ini disebabkan karena karakteristik suara yang semakin lama semakin meluas. Jika area luasannya diperkecil maka gelombang suara akan termampatkan dan menambah daya dorong.

### METODE PENELITIAN

Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian mesin *valveless pulse jet* antara lain:

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| a. Plat <i>Stainless steel</i> dengan tebal 0.08 mm ukuran diameter 1,54 cm, 7,62 cm. |                                      |
| b. Tabung LPG   | m. Selang                            |
| c. Regulator  | n. Flow meter gas                    |
| d. Katup pengatur tekanan gas   | o. Kran                              |
| e. <i>Flow</i> meter udara  | p. <i>Sound pressure level</i> (SPL) |
| f. Selang   | q. <i>Digitalmeter</i>               |
| g. Busi   | r. Compressor                        |
| h. Rangkaian modifikasi IC 555  | s. Kabel kabel                       |
| i. Coil   | t. Acumulator                        |

Model *Chinese CS* ini dipilih dengan alasan lebih sederhana dan berbentuk simetris dengan beberapa modifikasi diantaranya memperkecil *diffuser* dan perubahan dimensi berupa pembesaran dimensi mesin 668,66 cm<sup>3</sup>, dengan 1 inlet dan 1 *outlet*nya, saluran buang panjang 35,56 cm, dengan 3 variasi diameter *exhaust* yaitu ukuran standar 2,54 cm, diperbesar 5,08 cm dan yang satu diperkecil 1,52 cm untuk mengetahui perubahan kebisingan dan daya dorongnya.



**Gambar 4.** Skema Pengujian Thrust Mesin *Valveless Pulse Jet*.

### Pengujian

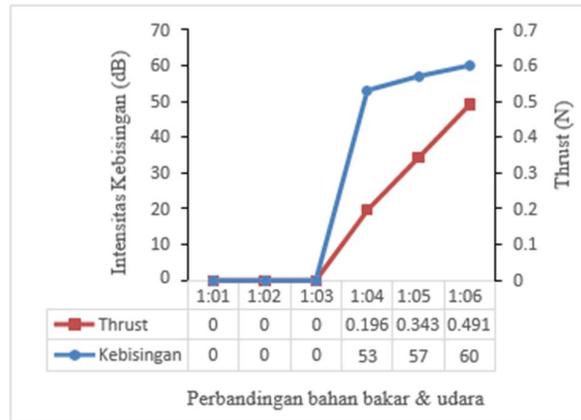
- Saluran masuk bahan bakar dihubungkan dengan oksigen berupa pipa dengan ukuran 2,54 cm. Saluran masuk diatur dengan variasi perbandingan udara dan BB 1:1 sampai 1:6.
- Rangkaian bahan bakar gas LPG disambungkan dengan regurator, selang, kran, katup pengatur tekanan, *pressure gage* serta *flowmeter*.
- Rangkaian pengapian menggunakan busi yang dipasang pada *head* ruang bakar. Penyalaan busi menggunakan modifikasi rangkaian *spark pulg* dengan IC 555 yang dihubungkan pada *coil* dan aki.
- Pengukuran *thrust* dilakukan menggunakan digitalmeter. Alat ini dipasang pada bagian belakang ekor *exhaust* pada batang besi diam, jika mesin hidup dan menghasilkan daya dorong maka mesin akan menarik digitalmeter sehingga alat akan menunjukkan besar daya dorong yang dihasilkan.
- Pengukuran intensitas kebisingan dilakukan menggunakan *sound pressure level* (SPL).
- Data terbaca di alat lalu dicatat.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

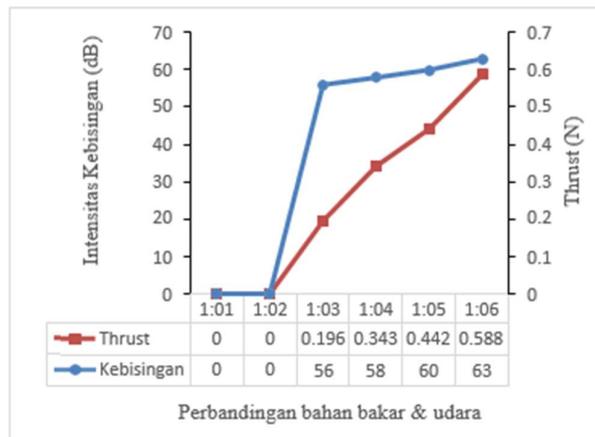
**Tabel 1.** Kebisingan dan Thrust pada berbagai perbandingan LPG dan udara

No	Jenis Mesin	Bahan Bakar (l/m)	Kecepatan Udara (l/m)	Intensitas Kebisingan (dB)	Thrust (N)
1.	Mesin standar	1	1	0	
		1	2	0	
		1	3	0	
		1	4	53	0,196
		1	5	57	0,343
		1	6	60	0,491
2.	Mesin variasi I pembesaran outlet	1	1	0	
		1	2	0	
		1	3	56	0,196
		1	4	58	0,343
		1	5	60	0,442
		1	6	63	0,588
3	Mesin variasi II pengecilan outlet	1	1	0	
		1	2	0	
		1	3	52	0,049
		1	4	56	0,098
		1	5	58	0,294
		1	6	60	0,442

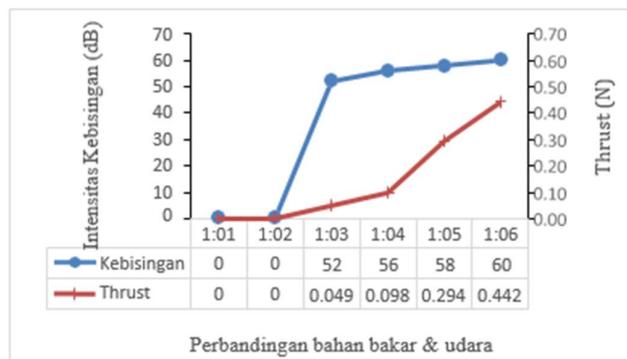
Pengujian thrust dan kebisingan suara dari mesin *valveless pulsejet* dimana data pada tabel dirubah dalam bentuk grafik agar mempermudah mempelajari perubahan pada setiap perbandingan pencampuran bahan bakar gas dengan udara adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.** Thrust dan kebisingan pada mesin standar



**Gambar 6.** Thrust dan kebisingan pada mesin variasi I dengan pembesaran outlet.



**Gambar 7.** Thrust dan kebisingan pada mesin variasi II dengan pengecilan outlet.

### Perbandingan Semua Hasil Pengujian Pada Jenis Variasi Mesin *Valveless Pulsejet*

Pengujian thrust dan kebisingan pada ketiga variasi mesin *valveless pulsejet* menunjukkan kesamaan pada pencampuran bahan bakar dengan udara 1:1 dan 1:2 *thrust* belum terbentuk. Fenomena ini disebabkan oleh campuran bahan bakar dan udara yang tidak berimbang sehingga mesin belum bisa hidup. Mesin hidup mengalami ledakan dan tidak stabil, dan jika dipaksakan bisa terjadi ledakan dan kebakaran.

Pencampuran bahan bakar dengan udara 1:3 pada mesin standar masih belum hidup tapi mesin variasi I dan II sudah hidup stabil dan menghasilkan thrust dan kebisingan suara mesin walaupun masih kecil. Proses ini terjadi karna kesesuaian perbandingan pencampuran bahan bakar gas dengan udara. Ledakan dalam mesin menghasilkan tekanan, tekanan thrust dan suara keluar mesin, dorongan gaya beserta suara hasil pembakaran akan bergerak keluar melalui outlet mesin yang sudah diperkecil ukurannya 1/3 ukuran ruang bakar, maka gayanya mengalami percepatan dalam sekian seperdetik.

Semakin sempit salurannya (*nozel*) mengakibatkan kecepatan aliran semakin cepat dan tekanan menurun serta terjadi kenaikan suhu mesin, tapi dibagian ujung outlet yang dilakukan pembesaran (*difuser*) gayannya paling tinggi dari jenis lainnya, disebabkan oleh adanya peningkatan tekanan diujung *difuser* sehingga masa mengalami percepatan pada ujungnya sehingga masa aliran yg keluar mengalami peningkatan thrust, karna saluran outlet mengarah kebelakang, maka terjadi aksi kebelakang serta sebaliknya terjadi reaksi mesin bergerak kedepan.

Pada mesin variasi II terlihat warna merah hampir pada keseluruhan mesin dilanjut mesin standar dan terakhir mesin variasi I, disebabkan masa yang mempunyai energi panas pembakaran yang tinggi tidak segera dilepaskan keluar karna dilakukan penyempitan diujung outletnya menyebabkan suhu dalam mesin semakin tinggi. Penjelasan ini sejalan dengan teori hukum I newton dimana usaha adalah semakin lambat masa meningglkan mesin maka thrustnya semakin kecil. Alhasil kerja mesin semakin berat dan suhu semakin tinggi dan berlaku sebaliknya.

Pada ketiga mesin masih terlihat api merah dan sebagian ada asapnya ini disebabkan oleh belum terjadi homogenitas bahan bakar terlalu banyak dengan udara ketika terbakar di ruang mesin. karan saluran bahan bakarnya tidak menggunakan injektor dan hanya memanfaatkan kecepatan udara kompresor untuk pencampuran bahan bakar dengan udara maka kesempurnaan pembakaran tidak terjadi.

Mesin variasi pembesaran outlet, api hasil pembakaran terlihat paling sempurna dari kedua variasi outlet lainnya, api berwarna biru kemerahan. Proses ini terjadi karna api hasil pembakaran bercampur dengan udara bebas di ujung outlet terjadi secara homogen dan terjadi peningkatan tekanan pada *difuser* maka jika ada gas yg belum terbakar sempurna ketika proses pembakaran didalam ruang bakar mesin bisa terbakar sempurna ketika melewati ujung outlet yang dilakukan pembesaran luas penampangnya (*difuser*) sehingga menyebabkan jilatan api semakin panjang.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap pengujian pada tigavariasi mesin *valveless pulse jet*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a) Mesin standar *thrust* tertinggi sebesar 0,491 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 60 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:4 sampai perbandingan 1:6.
- b) Mesin variasi I pembesaran *outlet* terjadi *thrust* tertinggi sebesar 0,588 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 63 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:3 sampai perbandingan 1:6.
- c) Mesin variasi II pengecilan *outlet* terjadi *thrust* tertinggi sebesar 0,442 N berbanding lurus dengan suara kebisingan sebesar 60 dB pada campuran bahan bakar dan udara 1:3 sampai perbandingan 1:6.
- d) Pengujian *thrust* dan kebisingan pada ketiga variasi mesin *thrust* tertinggi terjadi pada mesin variasi I *thrust* sebesar 0,588 N dan kebisingan 63 dB dilanjut mesin standar *thrust* 0,491 N dan kebisingan

60 dB dan terakhir mesin variasi II *thrust* 0,442 N dan kebisingan 60 dB. Suhu mesin paling tinggi terjadi pada mesin variasi II dilanjut mesin standar dan terakhir mesin variasi I.

## Saran

Saran yang dapat diberikan penulis sehingga dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a) Mesin bisa dijadikan alat peraga pembelajaran dan pengenalan pada mesin *jet* khususnya mesin *valveless pulse jet*.
- b) Pembakaran mesin kurang sempurna, nantinya bisa divariasikan dengan injektor agar campuran bisa homogen sehingga *thrust*nya bisa besar.
- c) Kedepannya bisa dicoba dibuat variasi dengan jenis bahan bakar lain, mulai dari bensin, etanol, minyak tanah, hidrogen, dll.
- d) Mesin suhu pembakaran sangat tinggi, kedepan bisa dimodelkan sistem peredam panas baik berupa penambahan pendinginan atau pemberian lapisan peredam panas.
- e) Pengujian mesin *valveless pulse jet* ini dapat menjadi tambahan pengetahuan bagi pengembangan alat uji mesin *pulse jet* yang memiliki tingkat kesulitan dan kerumitan lebih tinggi seperti untuk pembuatan mesin *valve pulse jet*.
- f) Dalam penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian untuk penelitian karakteristik lain dalam pengembangan jenis maupun tipe dari mesin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson Ryan, dan Nicholas Lukacs, dan Mitchell O'Callaghan, dan Karn Schumacher, dan Michael Sipols, dan Terry Walladge. 2008. Design and Build of Pulsejet UAV. Honours Project 637. School of Mechanical Engineering University Of Adelaide. Australia.
- Celley, C. Talbot Mc. 2006. Experimental Investigations Of Liquid Fueled Pulsejet Engines. Thesis. Mechanical Engineering. North Carolina State University Raleigh, NC.
- Chaurasia, S. Ranjan, dan Rajesh Gupta, dan R.M. Sarviya. 2013. Performance Analysis of a Pulsejet Engine. IJERA. India. Vol 3 hal 605-609.
- Kailasanathan .R. Abhinavan Kumar. 2007. Experimental Investigation on Pulsejet Engine. Thesis. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. North Caroline University. North Caroline.
- Petel D. B, dan Jayesh R. Parekh. 2013. Design and Development of Pulsejet Engine.
- Nikhil .B, dan Bhogaraju Nikhil, dan Guglothu Purnivas, dan B. Veera Brahmendra Rao , dan N. Kalyan Chakravarthy, dan N. Leela Prasad. 2014. Design and Performance Analisis of Liquid Fueled Pulsejet Engine. IJREAT. India. Vol 2 hal 1-5.
- Karthich. R. Raja, dan Rio Melvin Aro.T, dan Shyam Shankar.M.B, dan Vinoth.M. 2014. Design and Optimization of Valveless Pulsejet Engine. IJERA. Chennai. Vol 4 hal 56-59.
- Raharjo. W. Dwi, dan Karnowo. 2008. Mesin Konversi Energi. Cetakan pertama. Semarang. UNNES PRESS.
- Rolls-Royce plc. 1996. The JET ENGINE. Edisi V. Derby England. The Technical Publications Department Rolls-Royce plc.
- Westberg. F. 2000. Inside The Pulsejet Engine. Laporan 1.0. This report is a private study on the pulsejet engine. Swedia.
- Ogorelec, B. 2005. Valveless Pulsejet Engines 1.5. a historical review of valveless pulsejet designs. Zagreb, Croatia.
- Dewanti Rindy Astike, 2015. Analisis Dampak Intensitas Kebisingan Terhadap Gangguan Pendengaran Petugas Laundry. Jurnal Kesehatan Lingkungan 8. Vol 229-237. Departemen Kesehatan Lingkungan fakultas kesehatan masyarakat Universitas Airlangga. Surabaya.