

PENGARUH VARIASI GEOMETRI *NOZZLE* PADA *VALVELESS PULSEJET ENGINE* TERHADAP GAYA DORONG DAN KEBISINGAN BERBAHAN BAKAR LPG

Muh. Adi Puryadi¹, Karnowo², M. Burhan Rubai Wijaya³,

^{1,2,3} Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi geometri *nozzle* pada *valveless pulsejet engine* terhadap gaya dorong dan kebisingan berbahan bakar lpg. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian yang digunakan adalah metode pengujian. Mesin *valveless pulsejet* yang akan diuji terbuat dari bahan pipa *stainless steel*, dengan variasi *nozzle* 15°, 30°, dan 45° dan variasi laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h. Hasil pengujian dianalisis dengan teknik analisis deskriptif. Besar gaya dorong yang tertinggi dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 45° dengan variasi laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h yaitu sebesar 2,56N dan nilai gaya dorong terkecil dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 15° dengan variasi laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h yaitu sebesar 1,6 N. Sedangkan pada tingkat kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* dengan besar kebisingan yang tertinggi dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 45° dengan variasi laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h yaitu sebesar 104,8 dB, dan kebisingan terendah dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 15° dengan variasi laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h yaitu sebesar 99,9 dB.

Kata kunci: *pulsejet engine, nozzle, gaya dorong, kebisingan*

Abstract. This study aims to determine the effect of geometry *nozzle* variation on *valveless pulsejet engine* to thrust and gas-lpg fueled noise. The research method used is the research method used is the test method. The *valveless pulsejet* machine to be tested is made of stainless steel pipe, with 15 °, 30 °, and 45 ° *nozzle* variations and fuel flow rate 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, and 2,4 m³/h. Thrust testing is tested using spring scale and noise testing is tested using sound pressure level. The test results were analyzed by descriptive analysis technique. The highest thrust is generated from the 45° and fuel flow rate 2,4 m³/h *nozzle* geometry variation of 2.57N and the smallest thrust value is generated from the variation of the *nozzle* geometry 15° and fuel flow rate 1,8 m³/h at 1.6 N. While at the noise level resulting from the *valveless pulsejet engine* performance with large noise the highest resulting from 45 ° *nozzle* geometry variation and fuel flow rate 2,4 m³/h of 104.8 dB, and the smallest noise generated from the variation of geometry *nozzle* 15 ° that is 99.9 dB.

Keywords: *pulsejet engine, nozzle, thrust, noise*

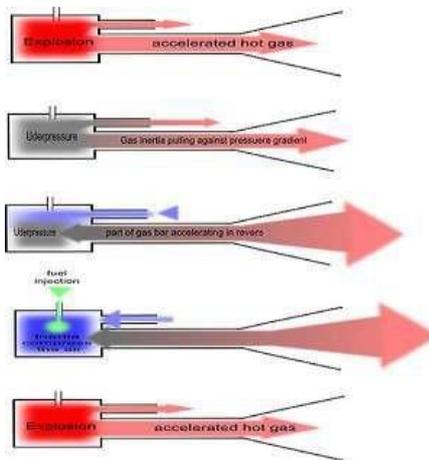
PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang mesin khususnya transportasi sangat meningkat yang berhubungan erat dengan kemajuan teknologi. Transportasi darat, transportasi laut dan transportasi udara, yang berperan penting dalam meringankan beban pekerjaan manusia. Salah satu sarana penting dari subsektor transportasi udara adalah mesin kemiliteran, hal itu menjadikan tolak ukur suatu negara untuk mengembangkan teknologi peralatan jet tempur dengan berbagai klasifikasinya.

Mesin *pulsejet* merupakan alternatif yang sangat efisien untuk saat ini disistem propulsi luar angkasa dengan tanpa awak. Desain yang sederhana dan efisien membuat mesin pulsejet menarik dikembangkan didunia penerbangan operasi jangka pendek bila dibandingkan dengan pesawat konvensional. *Pulse jet engine* adalah sejenis mesin jet yang pembakarannya berlangsung dengan frekuensi tertentu. Konstruksi mesin ini sangat sederhana. Ada 2 jenis mesin pulse jet yaitu *valved pulse jet* dan *valveless pulse jet*. Dimulai dengan induksi campuran bahan bakar dan udara atmosfer masuk ke dalam ruang bakar. Bahan bakar yang dialirkan secara kontinu ke dalam ruang bakar dan udara tersebut di bakar menggunakan penyalaan awal busi. Terjadi kenaikan tekanan yang dihasilkan oleh pembakaran campuran bahan bakar dan udara. Gas yang bertekanan dari pembakaran keluar melalui knalpot (*exhaust*) dan saluran *intake*.

Menurut Eko,B (1990:1) Turbin gas adalah pesawat tenaga putar yang menggunakan gas hasil pembakaran sebagai media kerjanya . turbin gas sebagai mesin putar hampir sama prinsipnya dengan turbin uap maupun turbin air. Turbin gas adalah pesawat tenaga putar yang menggunakan gas hasil pembakaran sebagai media kerjanya. Cara kerja turbin gas udara atmosfer masuk kedalam kompresor., di mana kompresor itu mempunyai fungsi menghisap dan menaikkan tekanan udara tersebut, sehingga suhunya naik pula. Kemudian udara dan bertekanan tinggi itu masuk kedalam ruang bakar. Di dalam ruang bakar disemprotkan bahan bakar ke dalamnya. Maka dalam ruang bakar terjadi proses pembakaran proses pembakaran ini berlangsung pada tekanan tetap, sehingga di ruang bakar terjadi penambahan volume dan kecepatan aliran meningkat.

Gas pembakaran yang terjadi itu, kemudian masuk ke dalam turbin gas, di mana tenaganya dipergunakan untuk melakukan kerja yaitu memutar turbin Soedjono (1980:120). Disisi lain sisa gas buang yang terdorong keluar kembali masuk ke dalam ruang bakar dan menyalakan bahan bakar yang baru diinduksikan masuk ke ruang bakar. Dengan adanya gas panas yang dihasilkan gas buang digunakan sebagai sumber penyalaan tanpa penyalaan dari busi.



Gambar 1. Mekanisme Valveless Jet Engine

(Kudesia dan Bisen, 2015)

Dapat dilihat dari gambar di atas bahwa, mesin jenis *valveless pulsejet engine* begitu sederhana sehingga sangat menarik bagi penulis untuk melakukan penelitian tentang *valveless pulsejet engine*.

Penelitian yang dilakukan oleh Karthick, dkk (2014) dengan judul *Design and Optimization of Valveless Pulsejet Engine*. Menyimpulkan bahwa tekanan tinggi yang dihasilkan mempengaruhi kinerja dari mesin pulsejet, namun perlu adanya perancangan geometris saluran masuk agar bisa mengoptimalkan kinerja *pulsejet* yang lebih baik.

Mengacu pada penelitian sebelumnya bahwa tekanan tinggi yang dihasilkan dapat mempengaruhi kinerja dari *valveless pulsejet engine*. Penggunaan variasi geometri nozzle tentunya akan menghasilkan perbedaan tekanan yang dihasilkan *pulsejet engine*. Berdasarkan uraian tersebut membuat peneliti ingin mengetahui pengaruh variasi geometri *nozzle* pada *valveless pulsejet engine* terhadap gaya dorong dan kebisingan berbahan bakar lpg.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengujian. Mesin *valveless pulsejet* yang akan diuji terbuat dari bahan pipa *stainless steel* berukuran diameter 1” dan 2 “ serta plat *stainless steel* dengan tebal 0,8 mm yang digunakan untuk pembuatan dimensi ruang bakar. Plat tersebut dipotong sesuai ukuran yang ditentukan dan disambung satu sama lain baik dari saluran masuk, volume ruang bakar dan panjang exhaust dengan cara dilakukan proses pengelasan.

Prosedur pengujian Gaya dorong dan Kebisingan yaitu Persiapan perlengkapan mesin *valveless pulsejet* sesuai dengan dimensi panjang exhaust dengan menghubungkan saluran masuk bahan bakar yang berupa pipa ukuran 1/8 Inch. Saluran masuk disetting agar campuran bahan bakar dan udara dengan komposisi yang tepat untuk proses pembakaran. Bahan bakar gas LPG berukuran

3 kg dapat disetting dengan putaran regulator dan diukur dengan barometer. Diantara tabung

gas LPG dan saluran masuk bahan bakar tersebut dihubungkan dengan selang. Pada sistem pengapian menggunakan busi yang dipasang pada bagian depan ruang bakar. Dalam penyalaan pengapian dimodifikasi menggunakan IC 555 dengan dihubungkan pada coil dan aki. Untuk pengukuran gaya dorong yang dihasilkan kinerja mesin dapat dilakukan dengan bantuan spring scale yang dihubungkan antara bodi mesin dengan rangka rel. Kemudian gaya dorong dapat diukur dengan mengkonversikan panjang spring scale dengan beban dari mesin *valveless pulsejet*. Untuk pengukuran tingkat kebisingan dari kinerja mesin dapat dilakukan dengan menggunakan alat sound pressure level (SPL) yang sebelumnya disetting jarak jauhnya.

Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif, yaitu menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum (Sugioyono, 2013:208). Data yang dihasilkan penelitian ini

besarnya gaya dorong dan kebisingan. Data yang diperoleh dari rata-rata hasil pengujian kemudian dimasukkan kedalam tabel yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya data dalam grafik dilakukan analisa dan diarik kesimpulan sehingga dapat diketahui pengaruh variasi geometri *nozzle* pada terhadap gaya dorong dan kebisingan berbahan bakar gas lpg. *valveless pulsejet engine*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

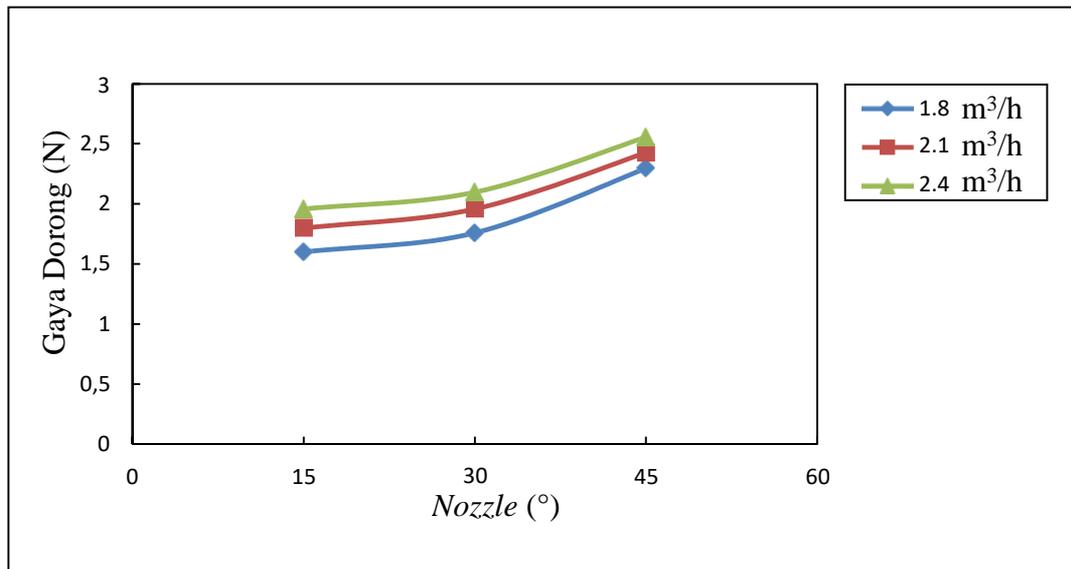
Data hasil penelitian pengujian gaya dorong dan kebisingan *valveless pulsejet engine* berbahan bakar gas LPG. Pengujian dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Negei Semarang. Beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain dari dimensi *valveless pulsejet engine*, massa *valveless pulsejet engine* dan kalibrasi alat pengujian. Dari mulai dimensi *valveless pulsejet engine* antara lain volume ruang, panjang pipa gas buang 50 cm, diameter pipa gas buang 2,6.

Pengujian gaya dorong dilakukan dengan tiga variasi geometri *nozzle* dan variasi laju aliran LPG, dimana setiap spesimen besar laju aliran dilakukan tiga kali pengujian kemudian diambil rata-ratanya. Dimana pengujian dilakukan dengan variasi geometri *nozzle* dengan sudut $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dan variasi laju aliran bahan bakar LPG $1,8 \text{ m}^3/\text{h}, 2,1 \text{ m}^3/\text{h}, 2,4 \text{ m}^3/\text{h}$,

Berikut analisa perbandingan gaya dorong dan kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* berbahan bakar gas lpg dengan variasi geometri *nozzle* dan variasi laju aliran LPG, dalam pengujian ini dilakukan pada laju aliran udara yang konstan yaitu $12 \text{ m}^3/\text{h}$.

Gaya Dorong

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan perbedaan hasil gaya dorong dari masing-masing variasi geometri *nozzle* $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dengan variasi laju aliran bahan bakar $1,8 \text{ m}^3/\text{h}, 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$, dan $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ dan laju aliran udara konstan sebesar $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan tekanan 4-5 bar. Perbandingan gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada variasi geometri *nozzle* dapat dilihat pada Gambar 4.2 :



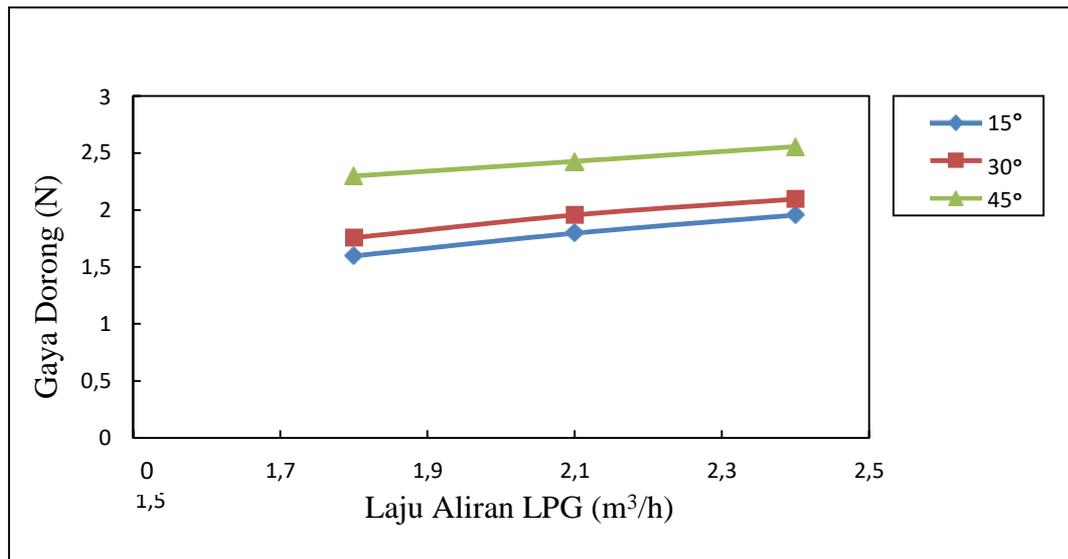
Gambar 2 Grafik Pengaruh Geometri Nozzle Terhadap Gaya Dorong.

Grafik pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa secara umum menunjukkan besarnya gaya dorong dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Nilai gaya dorong naik seiring dengan laju aliran bahan bakar. Pada penelitian ini geometri *nozzle* yang divariasikan memberikan pengaruh besar terhadap nilai gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* dengan nilai gaya dorong yang paling rendah yaitu 1,6 N pada nozzle 15° dengan laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h dan mengalami kenaikan 26,62 % dari yang semula 1,6 N menjadi 2,56 N pada variasi nozzle 45° dengan laju aliran bahan bakar sebesar 2,4 m³/h. Hal itu disebabkan karena geometri nozzle yang pas dan bahan bakar yang optimal akan memaksimalkan aliran campuran bahan bakar dan udara ke dalam *inlet* sehingga dapat meningkatkan efisiensi dorongan dari mesin.

Menurut Arismunandar (2002:56), nozzle adalah alat atau saluran yang berfungsi menaikkan kecepatan fluida dengan jalan menurunkan tekanannya. Atau, nosel adalah alat untuk mengekspansikan fluida sehingga kecepatannya bertambah besar. Peningkatan besar gaya dorong juga rata-rata karena reaksi kimia yang terjadi didalam ruang bakar dan gas panas sisa pembakaran mengalir dengan tekanan tinggi yang ada didalam ruang bakar dan keluar melalui lubang saluran keluar. Selain itu, gaya dorong dihasilkan berasal dari gas pembakaran yang dialirkan melalui nozzle exit maupun gerakan propeller, apabila geometri nozzle lebih kecil maka gaya dorong yang dihasilkan tidak akan maksimal. (Eko, 1990 : 74).

Perbandingan variasi Laju Aliran LPG terhadap gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada dapat dilihat pada Gambar

3 :



Gambar 3 Grafik Pengaruh Laju Aliran LPG Terhadap Gaya Dorong.

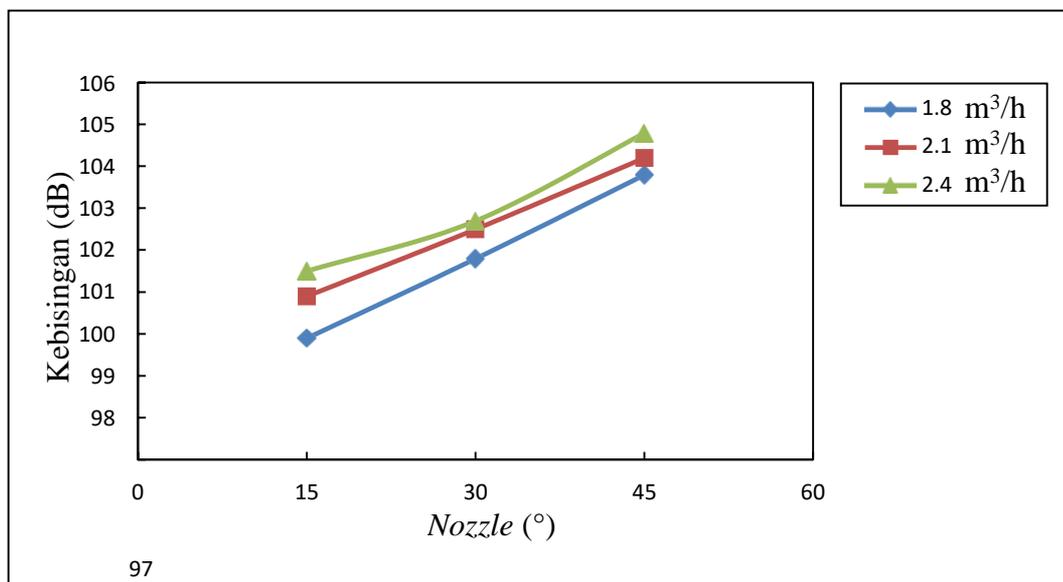
Grafik pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa secara umum menunjukkan besarnya gaya dorong dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Nilai gaya dorong naik seiring dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar dan besar geometri *nozzle*. Nilai gaya dorong yang paling rendah dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 1,6 N dalam kondisi laju aliran LPG 1,8 m³/h dengan geometri *nozzle* 15°. Sedangkan nilai gaya dorong yang paling tertinggi dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 2,56 N dalam kondisi laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h dengan geometri *nozzle* 45°.

Namun pada penelitian ini laju aliran bahan bakar yang divariasikan dengan laju aliran udara juga memberikan pengaruh besar terhadap nilai gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Penambahan laju aliran udara dan bahan bakar yang besar menyebabkan campuran bahan bakar dan udara lebih homogen serta menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna sehingga meningkatkan efisiensi dorongan dari mesin. Hal ini dikarenakan dampak rasio udara dan bahan bakar yang optimal dapat memaksimalkan adanya aliran campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar sehingga efisiensi gaya dorong yang dihasilkan akan meningkat (Kudesia dan Bisen, 2015).

Menurut Arismunandar (2002:56), *nozzle* adalah alat untuk mengekspansikan fluida sehingga kecepatannya bertambah besar. dikarenakan udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar lebih mencukupi dan mengakibatkan aliran yang semula laminar menjadi turbulen. Aliran turbulen merupakan aliran yang melibatkan gerakan-gerakan acak dari partikel-partikel fluida (Munson, dkk. 2005:7).

Kebisingan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan perbedaan hasil kebisingan dari masing-masing variasi geometri *nozzle* 15°, 30°, dan 45° serta masing-masing variasi laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h. Perbedaan kebisingan yang diperoleh tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada masing-masing penggunaan variasi geometri *nozzle* dan variasi laju aliran bahan bakar, dari yang semula 99,9 dB menjadi 104,8 dB. Perbandingan nilai intensitas kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada variasi geometri *nozzle* dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. Grafik Pengaruh Geometri *Nozzle* Terhadap Tingkat Kebisingan.

Grafik pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa secara umum menunjukkan hubungan antara variasi geometri *nozzle* dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Pada grafik dapat dilihat untuk nilai geometri *nozzle* dan seiring kenaikan laju bahan bakar menyebabkan peningkatan kebisingan yang rata-rata cenderung naik. Tetapi dilihat pada grafik nilai geometri *nozzle* sangat berpengaruh terhadap besar terhadap nilai intensitas kebisingan dari nilai intensitas kebisingan yang paling rendah pada variasi geometri *nozzle* 15° dengan laju aliran bahan bakar 30 l/m, dan nilai intensitas kebisingan yang paling tinggi pada variasi geometri *nozzle* 45° dengan laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h, mengalami kenaikan dari yang semula 99,9 dB menjadi 104,8 dB.

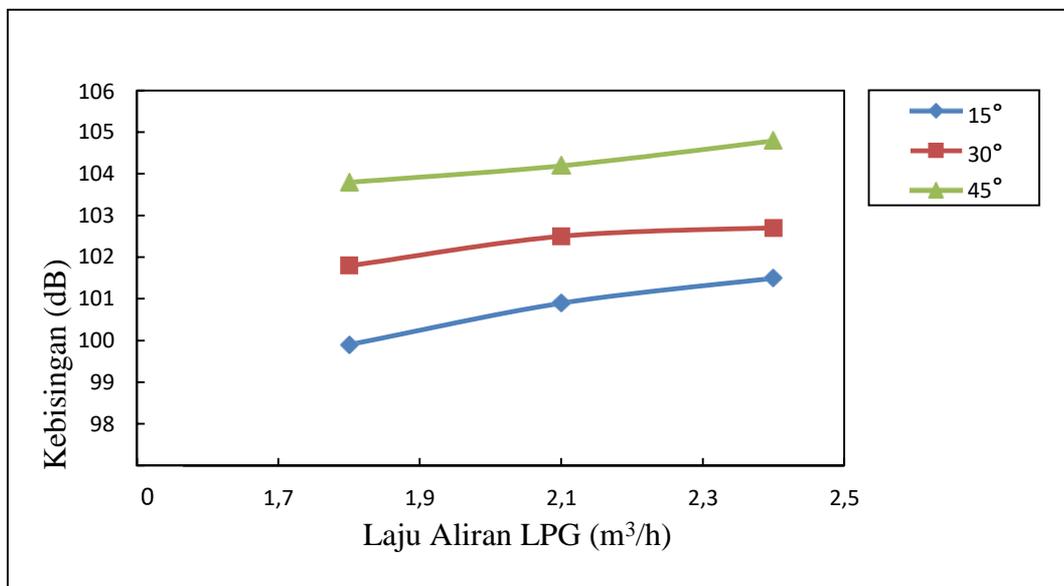
Namun pada penelitian ini laju aliran bahan bakar yang divariasikan dan laju aliran udara juga memberikan pengaruh besar terhadap nilai intensitas kebisingan dari kinerja *valveless*

pulsejet engine.

Menurut Lambertus (2013) Intensitas kebisingan yang ditimbulkan dari kinerja pulsejet terjadi karena suhu gas buang yang meningkat pula. Semakin besar kecepatan aliran fluida gas buang maka semakin besar pula tingkat kebisingan yang di timbulkan. Selain itu, sumber panas pada saat proses pembakaran memberikan sinyal hentakan yang keras sehingga dapat menimbulkan *noise* yang berlebihan secara kontinyu (Mardiyanto, 2008).

Suara yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat menunjukkan adanya aliran turbulensi selama proses pembakaran berlangsung. Turbulensi sengaja diciptakan dengan tujuan untuk memungkinkan pembakaran yang baik dan efisien di dalam ruang bakar pada waktu yang relatif singkat.

Perbandingan variasi Laju Aliran LPG terhadap kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada dapat dilihat pada Gambar 5 :



Gambar 5 Grafik Pengaruh Laju Aliran LPG Terhadap Tingkat Kebisingan.

Grafik pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa secara umum menunjukkan hubungan antara variasi laju aliran bahan bakar dan variasi geometri *nozzle* terhadap kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara umum, untuk kenaikan besar variasi laju aliran bahan bakar menyebabkan peningkatan kebisingan yang rata-rata cenderung naik.

Tetapi dilihat pada grafik besar besar laju aliran bahan bakar sangat berpengaruh terhadap besar terhadap nilai intensitas kebisingan dari nilai intensitas kebisingan yang paling rendah pada laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h, dengan variasi geometri *nozzle* 15°. dan nilai intensitas kebisingan yang paling tinggi pada variasi laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h, dengan variasi geometri *nozzle* 45° mengalami kenaikan 6,3 % dari yang semula 99,9 dB menjadi 104,8 dB.

Namun pada penelitian ini laju aliran bahan bakar yang divariasikan dan laju aliran udara juga memberikan pengaruh besar terhadap nilai intensitas kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*.

Besarnya laju aliran bahan bakar dan geometri *nozzle* pada grafik diatas karena proses pembakaran yang terjadi seolah-olah menghasilkan efek ledakan yang menyebabkan udara bertekanan memuai dengan sangat cepat. Pemuaian udara yang terjadi membuat udara panas hasil pembakaran berekspansi secara bebas ke arah saluran keluar. Apabila semakin besar variasi laju aliran bahan

bakar dan variasi geometri *nozzle* maka akan berdampak pada besarnya tingkat kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*.

Menurut Lambertus (2013) Intensitas kebisingan yang ditimbulkan dari kinerja pulsejet terjadi karena suhu gas buang yang meningkat pula. Semakin besar kecepatan aliran fluida gas buang maka semakin besar pula tingkat kebisingan yang di timbulkan. Dengan demikian suara yang dihasilkan dari proses pembakaran dapat menunjukkan adanya aliran turbulensi selama proses pembakaran berlangsung. Turbulensi sengaja diciptakan dengan tujuan untuk memungkinkan pembakaran yang baik dan efisien di dalam ruang bakar pada waktu yang relatif singkat.

Pada proses pembakaran sistem *valveless pulsejet engine* mirip dengan pembakaran yang terjadi pada motor diesel dimana proses pembakarannya secara kontinu pada tekanan konstan. Dimana pada pengoperasian awal *valveless pulsejet engine* membutuhkan jumlah udara yang lebih sehingga apabila kekurangan udara yang masuk ke ruang bakar maka akan sering terjadi ledakan diruang bakar dikarenakan campuran bahan bakar dan udara yang miskin sehingga dapat menyebabkan permasalahan tersebut.

Dengan demikian maka sudut *nozzle* yang besar akan menghasilkan aliran turbulen yang besar juga. Pada proses pembakaran sistem *pulsejet engine* mirip dengan pembakaran yang terjadi pada motor diesel dimana proses pembakarannya secara kontinu pada tekanan konstan (Arismunandar, 2002 : 469).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan pada *valveless pulsejet engine* dengan variasi geometri *nozzle* 15°, 30°, dan 45° dengan variasi laju aliran LPG 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h dan laju aliran udara 2,4 m³/h (konstan), maka dapat disimpulkan bahwa, penambahan sudut *nozzle* berpengaruh pada tingkat besar gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Besar gaya dorong yang tertinggi dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 45° dengan laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h yaitu sebesar 2,56 N. Dan besar gaya dorong terendah dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 15° dengan laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h yaitu sebesar 1,6 N. Dan penambahan sudut *nozzle* berpengaruh pada tingkat kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Besar kebisingan yang tertinggi dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 45° dengan laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h yaitu sebesar 104,8 dB. Dan besar gaya dorong terendah dihasilkan dari variasi geometri *nozzle* 15° dengan laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h yaitu sebesar 99,9 dB

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W., 2002. *Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Eko, B .,1990. *Turbin Gas Konsep Dasar dan Penerapannya*. Semarang : Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan Semarang.
- Karteeq dan Praveen., 2014. *Design of a Advanced Focused Wave Pulsejet Engine*. *Journal of Engineering and Technical Research*. 2 (7) : 144 – 146.
- Kudesia dan Bisen., 2015. *Future Aspects of Valveless Pulsejet Engine*. *Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*. 03 (1) : 184 – 190.
- Kristanto, P., 2015. *Motor Bakar Torak*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta. Mardiyanto.,2008. Analisis Random Noise Pada Proses Pembakaran Motor Raket. *Jurnal Litek*. 5 (2) : 46-48.
- Primanda, B.F.,2012. Pemetaan Kebisingan Akibat Aktivitas Pesawat Dengan *Software Integrated Noise (INM)* Di Sekitar Bandar Udara Internasional Soekarno – Hatta. *Skripsi*. Depok. Universitas Indonesia.
- Rusjadi D., 2015. *Konsep Dasar Akustik Untuk Pengendalian Lingkungan*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Suganya, R., 2015. *Design and Analysis of Improved Pulse Jet Engine*. *Journal of Scientific Engineering and Technologi Research* 4 (14) : 2684 – 2687.
- Tambunan.H.B,Koto dan Lubis.,2014. Usaha Mengurangi Kebisingan Knalpot Produksi IKM di Kota Medan. *Jurnal* 2 (14) : 1 -7.