

PENGARUH VARIASI AIR FLOW RATE PADA VALVELESS PULSEJET ENGINE TERHADAP GAYA DORONG DAN KEBISINGAN BERBAHAN BAKAR GAS LPG

Afri Mukti Pribadi¹, Karnowo², M. Burhan Rubai Wijaya³

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

Abstrak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi besar *air flow rate* pada *valveless pulsejet engine* terhadap gaya dorong dan kebisingan berbahan bakar gas LPG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan penambahan variasi besar *air flow rate*. Hasil pengujian terhadap gaya dorong menunjukkan ada peningkatan gaya dorong maksimal pada variasi *air flow rate* 12 m³/h dan variasi laju aliran bahan bakar 2,4 m³/h dengan rata-rata tertinggi besar gaya dorong dan kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*, yaitu sebesar 2,61 N dan tingkat kebisingan sebesar 105 dB. Sedangkan rata-rata gaya dorong dan kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine* terendah didapat pada pengujian variasi *air flow rate* 3 m³/h dan variasi laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h dengan gaya dorong sebesar 0,7 N dan tingkat kebisingan yang dihasilkan sebesar 98,4 dB. Selain itu, untuk mencapai gaya dorong yang maksimal dibutuhkan AFR 1 : 5. Dapat disimpulkan bahwa penambahan *air flow rate* pada *valveless pulsejet engine* berpengaruh terhadap gaya dorong, tingkat kebisingan dan *air fuel ratio*.

Kata kunci : *air flow rate, valveless pulsejet engine, gaya dorong, kebisingan*

Abstract. The purpose of this research is to know the influence of large air flow rate variations on the valveless pulsejet engine against the thrust and noise gas LPG-fueled. The methods used in this study is an experiment with the addition of large variations of air flow rate. The result of testing against the thrust shows there is an increase in the maximum thrust on the variations of air flow rate 12 m³/h and a 2.4 m³/h fuel flow rate variation with average high of large thrust and noise performance of valveless pulsejet engine, namely amounting to 2,61 N and the level of noise of 105 dB. While the average thrust and noise performance of valveless pulsejet engines the lowest obtainable on testing variations of the air flow rate of 3 m³/h and a 1,8 m³/h fuel flow rate variation with a thrust of 0,7 N and the resulting noise level of 98,4 dB. It can be concluded that the addition of air flow rate on the valveless pulsejet engines have an effect on the thrust and noise level. In addition, to achieve the maximum thrust required AFR 1: 5. It can be concluded that the addition of flow rate water in the valveless pulsejet engine affect the thrust, noise level and air fuel ratio.

Keywords : *air flow meter, valveless pulsejet engines, thrust, noise*

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern saat ini sangat berpengaruh dengan kehidupan kita sekarang ini. Barang siapa yang dapat memanfaatkan secara baik maka akan bisa hidup dengan mudah. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat menjadikan kebutuhan manusia semakin banyak dan beragam khususnya sistem pesawat propulsi luar angkasa. Dalam bidang antariksa banyak inovasi yang perlu dikembangkan manusia untuk menciptakan sesuatu yang lebih baik dan berguna serta tingkat efisien yang tinggi. Mesin *pulsejet* merupakan alternatif yang sangat menarik untuk saat ini di sistem propulsi luar angkasa dengan tanpa awak. Desain yang sederhana dan efisien membuat mesin *pulsejet* menarik dikembangkan di dunia penerbangan operasi jangka pendek untuk bila dibandingkan dengan pesawat konvensional. Mesin *pulsejet* adalah bentuk ringan dari sistem propulsi jet yang memiliki rasio kompresi rendah dengan maksud untuk memberikan level impuls tertentu (Karteek dan Praveen, 2014). Menurut Eko (1990 : 75) bahwa, konstruksi *pulsejet* hampir sama dengan *ram jet*, tetapi pada *pulsejet* pengaturan udaranya dilakukan oleh katup sehingga menyebabkan alirannya berupa pulsa – pulsa. Terdapat 5 fasa siklus pembakaran yang ada di *pulsejet engine* yakni, induksi bahan bakar, kompresi, injeksi bahan bakar, pengapian pembakaran dan saluran udara keluar (Karteek dan Praven :2014).

Menurut Karteek dan Praveen (2014) menyatakan bahwa, sebelum membangun sebuah mesin *pulsejet* ada beberapa komponen utama yang harus dibuat antara lain : (1) ruang bakar, (2) saluran udara masuk dan (3) saluran udara keluar. Ruang bakar merupakan tempat dimana campuran udara dan bahan bakar dibakar menggunakan penyalaan busi. Besar kecilnya suatu volume ruang bakar dapat berpengaruh pada meningkatnya laju aliran gas. Suatu ruang bakar dapat meningkatkan kinerja dari mesin terutama untuk gaya dorong dari mesin tersebut dan ruang bakar merupakan tempat dimana terjadinya aliran turbulensi yang sangat dibutuhkan dalam sistem pembakaran. Untuk mendapatkan gaya dorong mesin *pulsejet* dibutuhkan campuran udara dan bahan bakar yang sesuai. Salah satu yang mempengaruhi kemampuan mesin adalah pemasukan udara dan bahan bakar. Menurut Kristanto (2015 : 61), pembakaran adalah reaksi kimia dimana elemen tertentu dari bahan bakar bergabung dengan oksigen dan melepaskan sejumlah besar energi yang menyebabkan suhu gas, dalam pembakaran, oksigen merupakan komponen reaktif dari udara. Tetapi disisi lain berdampak pada tingkat kebisingan dari hasil kinerja suatu mesin *pulsejet*. Kebisingan merupakan bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat mengakibatkan gangguan kesehatan dan kenyamanan manusia (Rusjadi, 2015 : 45).

Kelemahan dari mesin *pulsejet* merupakan tingkat kebisingan tinggi yang dihasilkan dari proses kerja didalam ruang bakar sehingga perlu adanya pembelajaran lebih mendalam tentang seberapa besar *air flow rate* yang dibutuhkan *pulsejet engine* untuk memperoleh tingkah kebisingan dan gaya dorong yang diharapkan.

Walaupun demikian bukan hal mustahil bagi negara kita Indonesia untuk mengembangkan mesin *pulsejet* ini sebagai penggerak *prototype* peluru berpadu dengan tujuan pengetesan pada sistem kendalinya.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa besi dengan ukuran diameter 0,002 m, 0,003 m dan 0,0070 m yang digunakan untuk pembuatan ruang bakar, saluran masuk dan *exhaust*. Plat galvanis dengan tebal 0,00018 m yang digunakan untuk pembuatan sudut *nozzle* dan *diffuser*. Plat besi dengan tebal 0,0002 m digunakan untuk dudukan *valveless pulsejet engine*. Las asiteline digunakan untuk proses pembuatan alat *valveless pulsejet engine*. Las listrik digunakan untuk proses pembuatan kedudukan dan rel *valveless pulsejet engine* dan kompresor. Dari bahan tersebut kemudian dirangkai sesuai desain dengan dimensi volume ruang bakar 0,0004558 m³, panjang *exhaust* yang sudah ditetapkan yaitu 0,5 m berdiameter 0,3 m serta panjang saluran masuk 0,13 m dengan sudut *nozzle* 45°. Dilakukan pengujian dengan variasi besar *air flow rate* dari kompresor 3 m³/h, 6 m³/h, 9 m³/h dan 12 m³/h dan variasi laju aliran bahan bakar sebesar 1,8 m³/h, 2,1 m³/h dan 2,4 m³/h. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *spring scale* dan *digital environment meter*.

Dalam penelitian ini, *spring scale* berfungsi untuk mengukur besar gaya dorong dari kinerja *valveless pulsejet engine* dan *digital environment meter* berfungsi untuk mengetahui intensitas kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine* selama proses penyalaan. Pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar dan efektif maka diperlukan langkah-langkah persiapan sebelum melakukan pengujian. Adapun persiapan pengujian adalah membuat rangkaian sistem penyalaan busi *valveless pulsejet engine*, rangkain saluran bahan bakar *valveless pulsejet engine*, rangkain *valveless pulsejet engine*, dan rangkain alat ukur pengujian *valveless pulsejet engine*.

Prosedur pengujian gaya dorong dari *valveless pulsejet engine* yaitu pasang *valveless pulsejet engine* di rangkaian dudukan rel, pasang rangkaian sistem penyalaan menggunakan IC 555, siapkan rangkaian kompresor dan bahan bakar, sapkan dimensi volume ruang bakar 0,0004558 m³ dan panjang *exhaust* 0,5 m berdiameter 0,03 m serta panjang saluran masuk 0,013 m dengan sudut 45°, lakukan pengujian gaya dorong dengan variasi *air flow rate* 3 m³/h, 6 m³/h, 9 m³/h dan 12 m³/h, pada laju aliran bahan bakar yang bervariasi 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h. Sehingga mendapatkan besar *air fuel ratio* yang berbeda-beda pada setiap pengujian. Prosedurnya hidupkan mesin *pulsejet valveless* kemudian dilakukan pengukuran besar gaya dorong dengan menggunakan *spring scale* dari masing-masing instrumen variasi *air flow rate*, Catat dan hitung hasil pengukuran gaya dorong mesin *pulsejet valveless*. Kemudian prosedur pengujian kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu pasang mesin *valveless pulsejet* di rangkaian dudukan rel, pasang tahan klem pada *valveless pulsejet engine*, pasang *valveless pulsejet engine* di rangkaian dudukan rel, pasang rangkaian sistem penyalaan menggunakan IC 555, siapkan rangkaian kompresor dan bahan bakar, siapkan dimensi volume ruang bakar 0,0004558 m³, panjang *exhaust* yang sudah ditetapkan yaitu 0,5 m berdiameter 0,3 m serta panjang saluran masuk 0,013 m dengan sudut *nozzle* 45°, lakukan pengujian tingkat

kebisingan dengan variasi *air flow rate* 3 m³/h, 6 m³/h, 9 m³/h dan 12 m³/h, pada laju aliran bahan bakar yang bervariasi 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h. Sehingga mendapatkan besar *air fuel ratio* yang berbeda-beda pada setiap pengujian. Prosedur awal kalibrasi alat *sound pressure level* dengan jarak yang ditentukan, hidupkan mesin *valveless pulsejet* kemudian dilanjutkan pengukuran tingkat kebisingan dengan alat *sound pressure level* dari masing-masing instrumen variasi *air flow rate* dan variasi laju aliran bahan bakar. Kemudian catat hasil pengukuran tingkat kebisingan yang tertera pada alat *sound pressure level*. Agar didapatkan data yang valid, setiap pengujian dari gaya dorong dan kebisingan dilakukan sebanyak tiga kali pengujian.

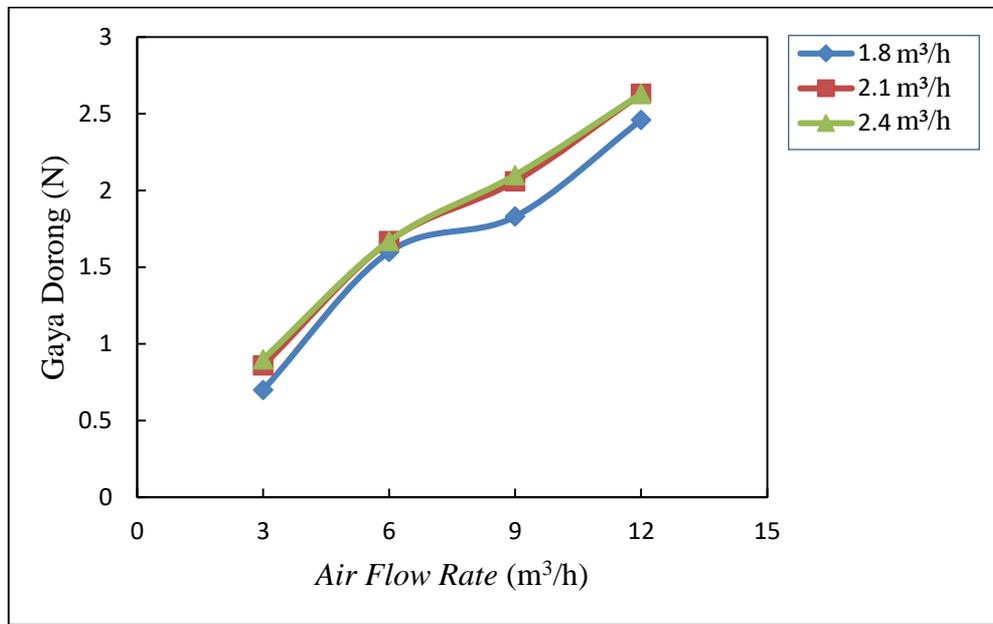
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah data hasil penelitian pengujian gaya dorong dan kebisingan *valveless pulsejet engine* berbahan bakar gas LPG. Dalam pengujian dilakukan di laboratorium teknik mesin Universitas Negeri 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 bakar yang konstan yaitu: 0,0004558 m³, panjang pipa gas buang 0,5 m, diameter pipa gas buang 0,026 m, besar sudut *nozzle* 45° dan sudut *diffuser* 30°.

Pengujiannya dilakukan dengan variasi *air flow rate* 3 m³/h, 6 m³/h, 9 m³/h dan 12 m³/h, pada laju aliran bahan bakar yang bervariasi 1,8 m³/h, 2,1 m³/h, dan 2,4 m³/h. Sehingga didapat *air fuel ratio* yang optimal untuk proses pembakaran diruang dan menghasilkan kinerja *valveless pulsejet engine* yang optimal.

Pengujian Gaya Dorong

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan perbedaan hasil gaya dorong dari masing-masing. Perbedaan gaya dorong yang diperoleh tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada masing-masing penggunaan variasi besar *air flow rate* dan variasi *air fuel ratio*. Perbandingan gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada variasi besar *air flow rate* dapat dilihat pada gambar 4.1 :



Gambar 1 Grafik Pengaruh Air Flow Rate Terhadap Gaya Dorong.

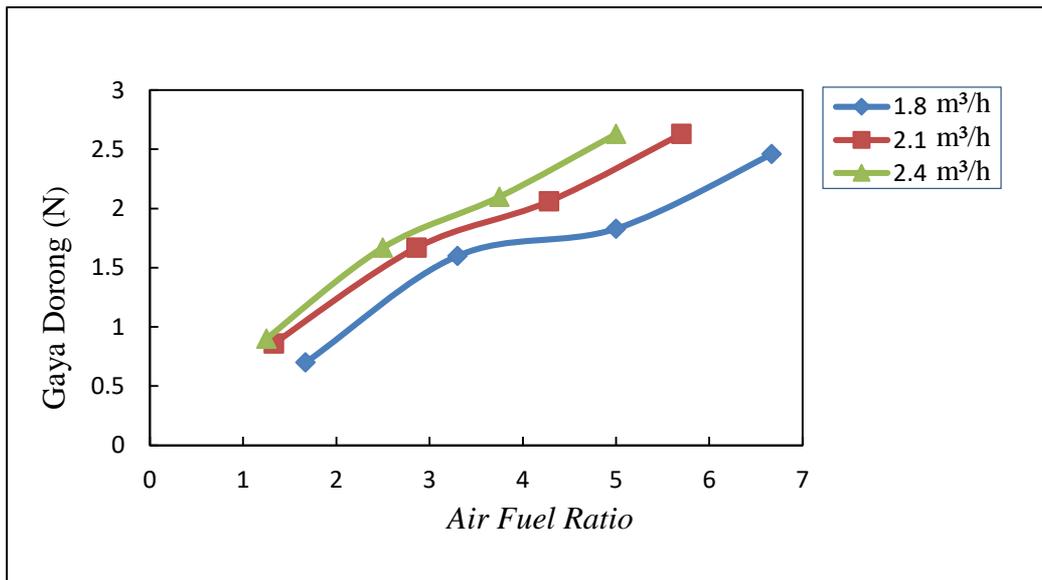
Pada gambar 1 tersebut dapat dilihat bahwa secara umum, menunjukkan hubungan antara variasi besar *air flow rate* dengan besar laju aliran bahan bakar terhadap gaya dorong dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Nilai gaya dorong naik seiring dengan meningkatnya *air flow rate* yang keluar dari kompresor dan dipengaruhi juga dengan meningkatnya laju aliran bahan bakar. Secara matematis bahwa besar gaya dorong sangat dipengaruhi oleh besar *air flow rate* dan laju aliran bahan bakar. Namun pada penelitian ini *air flow rate* yang divariasikan memberikan pengaruh yang paling besar dari pada besar laju aliran bahan bakar terhadap nilai gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* dengan nilai gaya dorong yang paling rendah yaitu 0,7 N pada variasi *air flow rate* 3 m³/h dengan laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h dan mengalami kenaikan 26,62 % dari yang semula 0,7 N menjadi 2,63 N pada variasi *air flow rate* 12 m³/h dengan laju aliran bahan bakar sebesar 2,4 m³/h. Hal itu disebabkan karena pembesaran massa udara yang masuk ke ruang bakar lebih menguntungkan dibanding dengan meningkatkan akselerasi gas atau bahan bakar terhadap besar gaya dorong (Suyitnadi, 2010).

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. Besar *air flow rate* yang masuk ke dalam ruang bakar digunakan untuk meningkatkan gaya dorong dari mesin *valveless pulsejet engine* (Nakano, 1999). Jadi, semakin besar *air flow rate* maka akan semakin besar juga gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Besarnya laju aliran baik udara maupun 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 sehingga pembakaran lebih sempurna.

Kecepatan besar *air flow rate* dan bahan bakar merupakan indikator pembakaran yang efisien (Nakano, 1990). Selain itu, 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. Dampak rasio udara dan bahan bakar yang optimal akan memaksimalkan aliran campuran bahan bakar dan udara ke dalam *inlet* sehingga dapat meningkatkan efisiensi dorongan dari mesin (Kudesia dan Bisen, 2015).

Perbandingan gaya dorong yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada variasi besar *air fuel ratio* dapat dilihat pada gambar 2

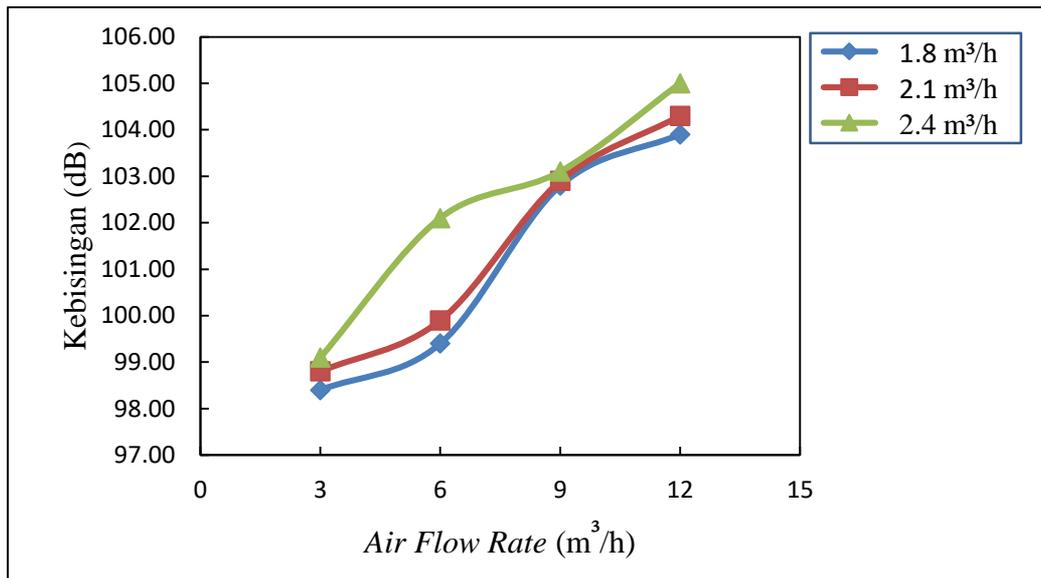


Gambar 2 Grafik Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Gaya Dorong

Pada gambar 2 menyimpulkan bahwa seiring bertambahnya besar *air fuel ratio* maka nilai gaya dorong yang dihasilkan akan meningkat. Nilai gaya dorong yang paling rendah dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 0,7 N dalam kondisi *air fuel ratio* 1 : 1,67 atau pada campuran laju aliran bahan bakar dan aliran udara sebesar 1,8 m³/h : 3 m³/h. Sedangkan nilai gaya dorong yang paling tertinggi dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 2,63 N dalam kondisi *air fuel ratio* 1 : 5 atau pada campuran laju aliran bahan bakar dan aliran udara sebesar 2,4 m³/h : 12 m³/h. Selain itu ada kondisi dimana terdapat nilai *air fuel ratio* yang tertinggi 1 : 6,67 tetapi tidak menghasilkan gaya dorong yang kurang maksimal. 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). Selain itu menurut Suyanto (1989), proses pembakaran dapat ditentukan oleh banyaknya jumlah oksigen yang ada di dalam ruang bakar sehingga campuran jumlah hidrokarbon dan oksigen menjadi lebih homogen.

Pengujian Kebisingan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan perbedaan hasil gaya dorong dari masing-masing. Perbedaan kebisingan yang diperoleh tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada masing-masing penggunaan variasi besar *air flow rate* dan variasi *air fuel ratio*. Perbandingan kebisingan yang dihasilkan dari kinerja *valveless pulsejet engine* pada variasi besar *air flow rate* dapat dilihat pada gambar 3:



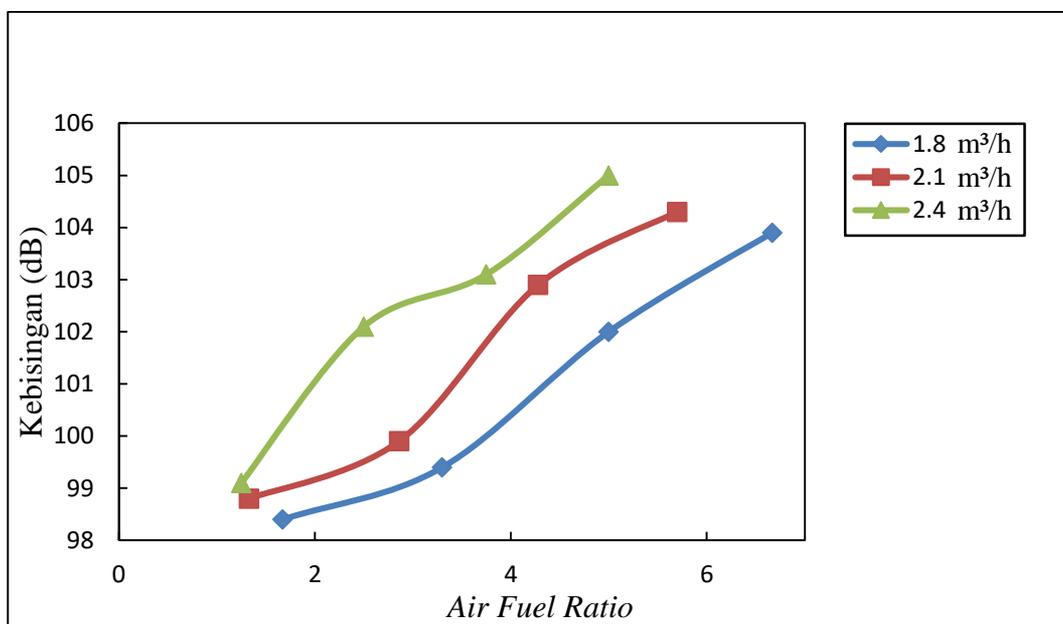
Gambar 3 Grafik Pengaruh Air Flow Rate Terhadap Tingkat Kebisingan

Pada gambar 3 tersebut dapat dilihat bahwa secara umum, menunjukkan hubungan antara variasi besar *air flow rate* dengan besar laju aliran bahan bakar terhadap kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara umum, untuk kenaikan besar variasi laju aliran udara dan seiring kenaikan laju bahan bakar menyebabkan peningkatan kebisingan yang rata-rata cenderung naik. Tetapi dilihat pada grafik besar *air flow rate* sangat berpengaruh terhadap besar terhadap nilai intensitas kebisingan dari yang paling rendah yaitu 98,4 dB pada variasi *air flow rate* 3 m³/h dengan laju aliran bahan bakar 1,8 m³/h dan mengalami kenaikan 5,3 % dari yang semula 98,4 dB menjadi 105 dB pada variasi *air flow rate* 12 m³/h dengan laju aliran bahan bakar sebesar 2,4 m³/h. Hal itu dikarenakan terbentuk dengan adanya semburan gas buang dengan temperatur panas dan memiliki kecepatan tinggi yang bergesekan dengan udara luar yang lebih dingin dan bergerak lebih lambat. (Primanda, dkk, 2012). Selain itu, sumber panas pada saat proses pembakaran memberikan sinyal hentakan yang keras sehingga dapat menimbulkan *noise* yang berlebihan secara kontinyu (Mardiyanto, 2008).

Besarnya *air flow rate* dan laju aliran bahan bakar 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 *air flow rate* dan laju aliran bahan bakarmaka akan berdampak pada besarnya tingkat kebisingan dari kinerja *valveless pulsejet engine*. Dengan demikian maka besarnya *air flow rate* dan laju

aliran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan menghasilkan aliran turbulen yang besar juga.

Menurut Tambunan, dkk (2014), sumber kebisingan terjadi karena adanya turbulensi fluida dan perbedaan temperatur. Selain itu, kebisingan juga dihasilkan dari proses pembakaran dapat menunjukkan adanya aliran turbulensi selama proses pembakaran berlangsung. 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.



Gambar 4 Grafik Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Kebisingan

Pada gambar 4 menyimpulkan bahwa seiring bertambahnya besar *air fuel ratio* maka nilai kebisingan yang dihasilkan akan meningkat. Nilai kebisingan yang paling rendah dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 98,4 dB dalam kondisi *air fuel ratio* 1 : 1,67 atau pada campuran laju aliran bahan bakar dan aliran udara sebesar 1,8 m³/h : 3 m³/h. Sedangkan nilai gaya dorong yang paling tertinggi dari kinerja *valveless pulsejet engine* yaitu sebesar 105 dB dalam kondisi *air fuel ratio* 1 : 5 atau pada campuran laju aliran bahan bakar dan aliran udara sebesar 2,4 m³/h : 12 m³/h. Selain itu ada kondisi dimana terdapat nilai *air fuel ratio* yang tertinggi 1 : 6,67 dengan menghasilkan nilai kebisingan 103,9 dB. Hal ini dikarenakan kebisingan merupakan dampak dari proses pembakaran dengan memberikan sinyal hentakan yang keras sehingga dapat menimbulkan *noise* yang berlebihan secara kontinyu (Mardiyanto, 2008). Menurut Tambunan, dkk (2014), sumber kebisingan terjadi karena adanya turbulensi fluida dan perbedaan temperatur. Jadi, semakin baik proses pembakaran udara dan bahan bakar

maka semakin besar juga dampak kebisingan yang dihasilkan dikarenakan *air fuel ratio* merupakan ukuran standar jumlah udara yang digunakan untuk proses terjadinya pembakaran yang sempurna.

SIMPULAN

Hasil pengambilan dan pengolahan data dapat disimpulkan bahwa gaya dorong dan tingkat kebisingan *valveless pulsejet engine* naik seiring dengan naiknya *air flow rate* dan laju aliran bahan bakar. Tetapi yang sangat berpengaruh besar pada gaya dorong dan kebisingan ialah *air flow rate*. Selain itu, semakin besar *air flow rate* juga dapat berpengaruh pada *air fuel ratio*. *Air fuel ratio* yang sangat optimal pada proses pembakaran *valveless pulsejet engine* ialah 1 : 5.

DAFTAR PUSTAKA

- 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 Roket. *Jurnal Litek*. 5 (2) : 46-48.
- Nakano, Zeutzius, Miyanishi, Setoguchi dan Kaneko. 1999. *Studies On Pulsejet Engine by Wind Tunnel Testing*. *Journal of Rotating Machinery* 7(2) : 79-85.
- 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.
- Suyitmadi.,2010. Analisis Peningkatan Efisiensi Turbofan Dengan Pembakaran Tambahan Pada Ruang Antar Tingkat Turbin. *Jurnal Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto* 2 (1) 1-12.
- Tambunan.H.B,Koto dan Lubis.,2014. Usaha Mengurangi Kebisingan Knalpot Produksi IKM di Kota Medan. *Jurnal* 2 (14) : 1 -7.