

KINERJA POMPA *JET EJECTOR* DENGAN MODIFIKASI *HELMHOLTZ RESONATOR* PADA PIPA NORMAL SHOCK

Mesak F. Noya*

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Rusdy Rumeon

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

P. W. Tetelepta

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Abdul Hadi

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

*E-mail korespondensi: mesakfrits@gmail.com

ABSTRAK

Setiap fluida yang mengalir selalu memiliki bunyi dengan intensitas dan frekwensi tertentu di dalam atau diluar ambang batas audio. Sifat akustik dari aliran fluida ini menjadi ide untuk memodifikasi normal shock diffuser dari suatu sistem fluida dengan menerapkan helmholtz resonator sebagai pengganti normal shock diffuser dengan menggabungkan dua pompa yang di aliri fluida, yaitu pompa sentrifugal tekanan rendah berkapasitas tinggi dan pompa injeksi tekanan tinggi berkapasitas rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan berapa besar pengaruh variasi jumlah pipa kapiler helmholtz resonator terhadap kinerja aliran fluida hidrolik booster-jet ejector pump. Penelitian ini bersifat eksperimental, dengan menerapkan sensor magneto flow meter arduino mega untuk mengukur kapasitas aliran fluida. Hasil penelitian ini menunjukkan daya terbesar berada pada helmholtz resonator dengan jumlah 4 pipa kapiler yaitu sebesar 170,914353 Watt. Disimpulkan bahwa kinerja pompa jet-ejector mengalami peningkatan sebesar 36% dari daya sebesar 125Watt sebelum modifikasi.

Kata Kunci : *Booster Jet Ejector, Resonator Helmholtz, Normal Shock*

ABSTRACT

Every fluid that flows always has a sound with a certain intensity and frequency, within or outside the audio threshold. The acoustic properties of this fluid flow became the idea to modify the normal shock diffuser of a fluid system by applying a Helmholtz resonator as a substitute for the normal shock diffuser by combining two pumps that are fed with fluid entering through a high-capacity low-pressure centrifugal pump and the other pump namely high pressure -low capacity injection pump. This study aims to determine how much the variation in the number of Helmholtz resonator capillaries towards performance of the hydraulic fluid flow of the booster-jet ejector pump. This research is experimental, by applying the arduino mega magneto flow meter sensor to measure the fluid flow capacity. The results of this study show that the greatest power is in the helmholtz resonator with a total of 4 capillary pipes, which is 170.914353 Watt. It is concluded that the performance of the jet-ejector pump has increased by 36% from the power of 125 Watt before modification.

Keywords: *Booster Jet Ejector, Helmholtz Resonator, Normal Shock*

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang kajian tentang mekanika fluida, sebagaimana dikemukakan oleh Brenner (1994) dan Fox *et al.* (2008), bahwa setiap fluida yang mengalir selalu memiliki bunyi dengan intensitas dan frekuensi tertentu di dalam atau di luar ambang batas audio. Sifat akustik dari aliran fluida ini menjadi ide untuk memodifikasi normal shock diffuser dengan *Helmholtz resonator* pada suatu *vaccum ejector* yang dapat dioperasikan sebagai *booster ejector pump* (pompa booster) untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida, tekanan, dan daya alir. Dengan menggabungkan dua pompa yang dialiri fluida yang masuk melalui pompa sentrifugal bertekanan rendah berkapasitas tinggi dengan pompa injeksi bertekanan tinggi berkapasitas rendah. Proses aplikasi *helmholtz resonator* dikemukakan oleh Hersch dan Wolker dengan memvariasikan *helmholtz resonator* pada *inlet manifold* untuk mengontrol kondisi aliran udara. Selanjutnya, Bertoluzzi *et al.* (1998) meneliti tentang penggunaan resonator untuk mengontrol efisiensi volumetrik dari sebuah mesin kemudian Yunita *et al* (2019), meneliti tentang pengaruh diameter leher *helmholtz resonator* pada alat pemanen energi akustik (*acoustic energy harvester*) terhadap daya listrik yang di hasilkan, menyimpulkan bahwa semakin besar diameter leher menghasilkan daya listrik yang semakin besar.

Dalam penelitian ini, *helmholtz resonator* digunakan untuk meningkatkan kecepatan dan tekanan aliran fluida dan daya alir setelah *diffuser*. Resonator ini berbentuk sirkular yang dilengkapi dengan variasi lima pipa kapiler dengan ukuran diameter dan panjang yang sama. Resonator ini dipasang pada penampang melintang pipa utama (*grazing line*) sebagai pengganti pipa *normal shock diffuser*. Dengan variasi jumlah pipa kapiler sebanyak lima perlakuan diharapkan kinerja pompa *jet ejector* dapat meningkat.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimen pada Laboratorium Pengujian Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh variasi jumlah pipa kapiler *helmholtz resonator* terhadap daya alir hidrolis *booster jet ejector pump* (Xioafeng, 2013).

a. Bahan

Helmholtz Resonator

Helmholtz resonator adalah peristiwa resonansi fluida dalam satu rongga. Resonator tersebut terdiri dari suatu badan yang berbentuk bola dengan satu volume fluida dengan sebuah leher. Nama ini berasal dari perangkat yang diciptakan pada tahun 1850-an oleh Hermann Von Helmholtz (Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand Von, 1821-1894) yang digunakan untuk menunjukkan tinggi dari berbagai nada.

Prinsip kerja helmholtz resonator adalah pada saat gelombang menabrak ruang, maka sebagian akan diteruskan ke dalam ruangan dan sebagian akan dipantulkan. Panjang dari ruang resonator ini harus dihitung sehingga gelombang pantulan meninggalkan ruang resonator harus tepat pada saat gelombang suara berikutnya datang ke ruang resonator (Louhenapessy, 2017)



Gambar 1. *Helmholtz Resonator* dan Tekanan aliran

Menurut Xiang (2013), helmholtz resonator seperti pada Gambar 1 sisi cabang dipasang pada sisi dinding dari saluran jauh dan gelombang pesawat menjalar sepanjang saluran. Dengan daerah penampang saluran adalah V , maka yang mengalir dari saluran adalah U_0 . Daerah titik menunjukkan diskontinuitas tekanan daerah karena aliran rata-rata pada tekanan hulu adalah P_1 dan tekanan hilir adalah P_2 . Tekanan pada leher helmholtz resonator adalah P_3 dan dianggap sama dengan tekanan hulu P_1 di persimpangan.

Ejector Pump

Kolmogorov (1949) menyatakan ejector adalah alat untuk mengeluarkan gas atau zat cair dari ruangan dengan menggunakan aliran zat cair atau uap lain yang berkecepatan tinggi. Ejector dapat merupakan jenis kompresor, dalam hal ini tekanan tinggi yang dialirkan melalui sebuah nozzle yang mengakibatkan pengembangan dan menyebabkan timbulnya vacuum.

Formulasi Pengukuran Eksperimen Aliran Fluida

Harga cepat rambat bunyi aliran fluida dari system fluida, a dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Joukowsky water Hammer* seperti dikemukakan oleh Brennen (1994)

$$a = \left[\rho_f \left(\frac{1}{K_f} + \frac{D}{E_p \delta_p} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$a_\infty = \left[\frac{k_f}{\rho_f} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$a_s = \left[\left(\frac{1}{a_\infty^2} + \frac{\rho_f D_s}{E_{ps} \delta_{ps}} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$a_o = \left[\left(\frac{1}{a_\infty^2} + \frac{\rho_f D_o}{E_{po} \delta_{po}} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

dimana a_o = Cepat rambat bunyi (m/s), a_∞ = Cepat rambat bunyi aliran dalam pipa (m/s), ρ_f = Densitas air (kg/m³), D_o = Diameter output (cm), E_{po} = Modulus elastisitas pipa (Pa), δ_{po} = Tebal pipa (cm), dan k_f = Modulus Bulk (Pa).

Dari sifat kontinuitas aliran dapat dipertimbangkan bahwa:

$$A_o \cdot v_o = A_s \cdot v_s \text{ Atau } v_o = \frac{A_s}{A_o} \cdot v_s \quad (5)$$

$$A_o \cdot v_o = A_s \cdot v_s \quad (6)$$

$$v_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad (7)$$

$$v_o = \frac{A_s}{A_o} \cdot v_s \quad (8)$$

dimana v_s = Kecepatan profil sensor (m/s), v_o = Kecepatan profil output (m/s), Q_s = Debit Aliran (m³/s), A_s = Luas Penampang sensor (m), dan A_o = Luas penampang output (m). Sedangkan dari sifat kompresibilitas aliran fluida pada kondisi isothermal dipenuhi tekanan diferensial aliran fluida yaitu:

$$p_s = \frac{k_f}{a_s} \cdot v_s \quad (9)$$

dan

$$p_o = \frac{k_f}{a_o} \cdot v_o \quad (10)$$

dimana p_s = Tekanan diferensial sensor (Pa), p_o = Tekanan diferensial output (Pa), k_f = Modulus Bulk (Pa), a_o = Cepat rambat bunyi (m/s), a_s = Cepat rambat sensor (m/s), dan v_o = Kecepatan profil output (m/s). Sehingga diperoleh daya output aliran fluida N, yaitu:

$$N_o = A_o \cdot p_o \cdot v_o \quad (11)$$

dimana N_o = Daya alir output (W), A_o = Luas penampang output (m), p_o = Tekanan diferensial output (Pa), dan v_o = Kecepatan profil output (m/s).

Selanjutnya diasumsikan bahwa noise dari sensor flow meter dengan margin error $\pm 5\%$ adalah relatif kecil atau secara praktis diabaikan. Dengan demikian harga rata-rata debit Q_s atau kecepatan rata-rata profil v_s aliran fluida pengukuran adalah bersifat random dan diperhitungkan secara recursive sample.

Spesifikasi Arduino Mega 2560

Board Arduino Mega 2560 adalah sebuah Board Arduino yang menggunakan ic Mikrokontroler ATmega 2560. Board ini memiliki Pin I/O yang relatif banyak, 54 digital Input / Output, 15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM, 16 buah analog Input, 4

UART. Arduino Mega 2560 dilengkapi kristal 16. Mhz Untuk penggunaan relatif sederhana tinggal menghubungkan power dari USB ke PC/ Laptop atau melalui Jack DC pakai adaptor 7-12 VDC (Arduino.com, 2016).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari spesifikasi Arduino Mega 2560 di bawah ini: Mikrokontroler Atmega 2560, Tegangan Operasional 5V, Tegangan Input (rekomendasi) antara 7-12V, Tegangan Input (limit) antara 6-20V, 54 Pin Digital I/O (Of which 15 provide PWM output), 16 Pin Analog Input, Arus DC per Pin I/O 20 mA, Arus DC untuk Pin 3.3 V sebesar 50 mA, Memori Flash 256 KB dimana 8 KB digunakan oleh *bootloader*, SRAM 8 KB, EEPROM 4 KB, Clock Speed 16 MHz, LED_BUILTIN 13, Panjang 101,52 mm, Lebar 53,3 mm, Berat 37 gram.

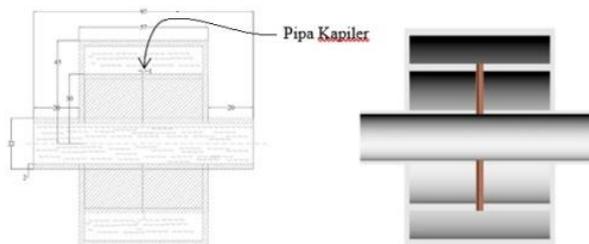
Spesifikasi Sensor-Water Flow Meter

Water Flow Meter 1 – 30L / MIN adalah sensor aliran/ debit udara yang dapat diaplikasikan untuk pengukuran debit aliran air dan sejenisnya. Sangat cocok untuk proyek dengan Arduino.

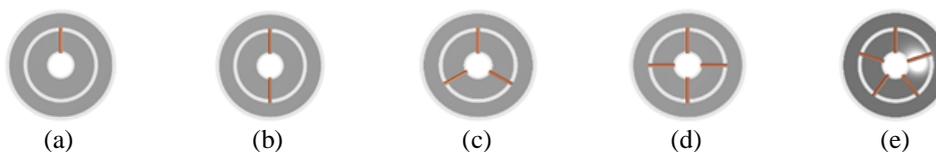
b. Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Pengujian Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura dengan mengukur kapasitas aliran fluida *diffuser* secara eksperimental untuk kondisi awal sebelum perlakuan dan dengan perlakuan ke-1 sampai dengan ke-5. Untuk setiap variasi perlakuan, ukuran diameter dan panjang pipa kapiler adalah sama. Selanjutnya secara teoritis dilakukan perhitungan daya alir fluida setelah *diffuser*.

Skema Gambar Peralatan Penelitian



Gambar 2. Helmholtz Resonator



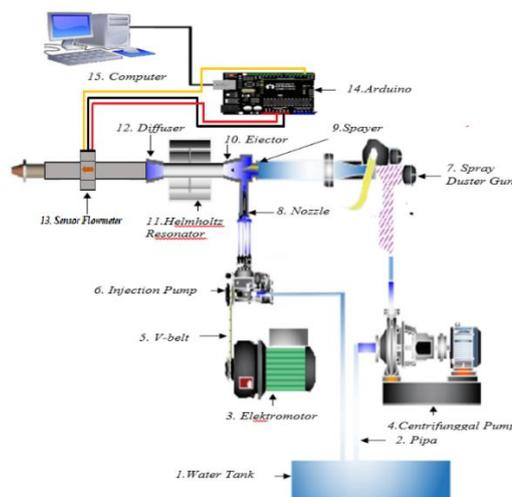
Gambar 3. Posisi variasi jumlah pipa kapiler Helmholtz

(a) Jumlah 1 pipa kapiler, (b) Jumlah 2 pipa kapiler, (c) Jumlah 3 pipa kapiler, (d) Jumlah 4 pipa kapiler, (e) Jumlah 5 pipa kapiler

Prosedur Penelitian

Instalasi peralatan sesuai rancangan penelitian (Gambar 4). Dengan *elektromotor 3 phase*, daya 3 Hp putaran 2480 rpm dan *injection pump*, fluida masuk melalui *centrifugal pump* dan *spray duster* menuju *ejector*, melalui rongga kemudian masuk ke *helmholtz resonator* dan keluar melalui *diffuser*. Alat penelitian diuji untuk mengetahui tidak ada lagi kehilangan di setiap proses, yaitu tidak adanya kebocoran di pipa-pipa dan *nozzle* pengabut dengan baik. Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Sensor Flowmeter* dan *Arduino Mega 2560*, dan dipastikan alat uji berada dalam kondisi telah dikalibrasi dengan baik. Pengambilan data dilakukan terhadap 5 perlakuan, dengan 5 kali pengulangan untuk setiap variasi jumlah pipa kapiler *helmholtz resonator*. Selanjutnya pergantian *helmholtz resonator* untuk setiap variasi dengan jumlah pipa kapiler yang berbeda.

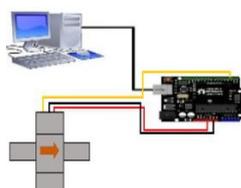
Mekanisme Penelitian



Gambar 4. Rancangan Penelitian

Teknik Akuisisi dan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada setiap perlakuan dengan 5 kali pengulangan, data diperoleh dalam bentuk debit aliran fluida (Q) setelah electromotor dan injection pump dijalankan bersama dengan centrifugal pump yang terhubung langsung dengan ejector masing – masing posisinya berada pada primary fluid dan secondary fluid, setelah aliran fluida tercampur di dalam bagian mixing chamber ejector aliran fluida melewati helmholtz resonator dan selanjutnya aliran fluida keluar pipa output diffuser. Proses pengukuran dengan menggunakan sensor flowmeter, direkam oleh Arduino Mega 2560, kemudian muncul di komputer pada aplikasi arduino uno R3, dan pada proses pengolahan data menggunakan microsoft excel.



Gambar 5. Instrumen pengukuran kecepatan aliran fluida Hidrolik dalam pipa dengan *Sensor Flow Meter*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

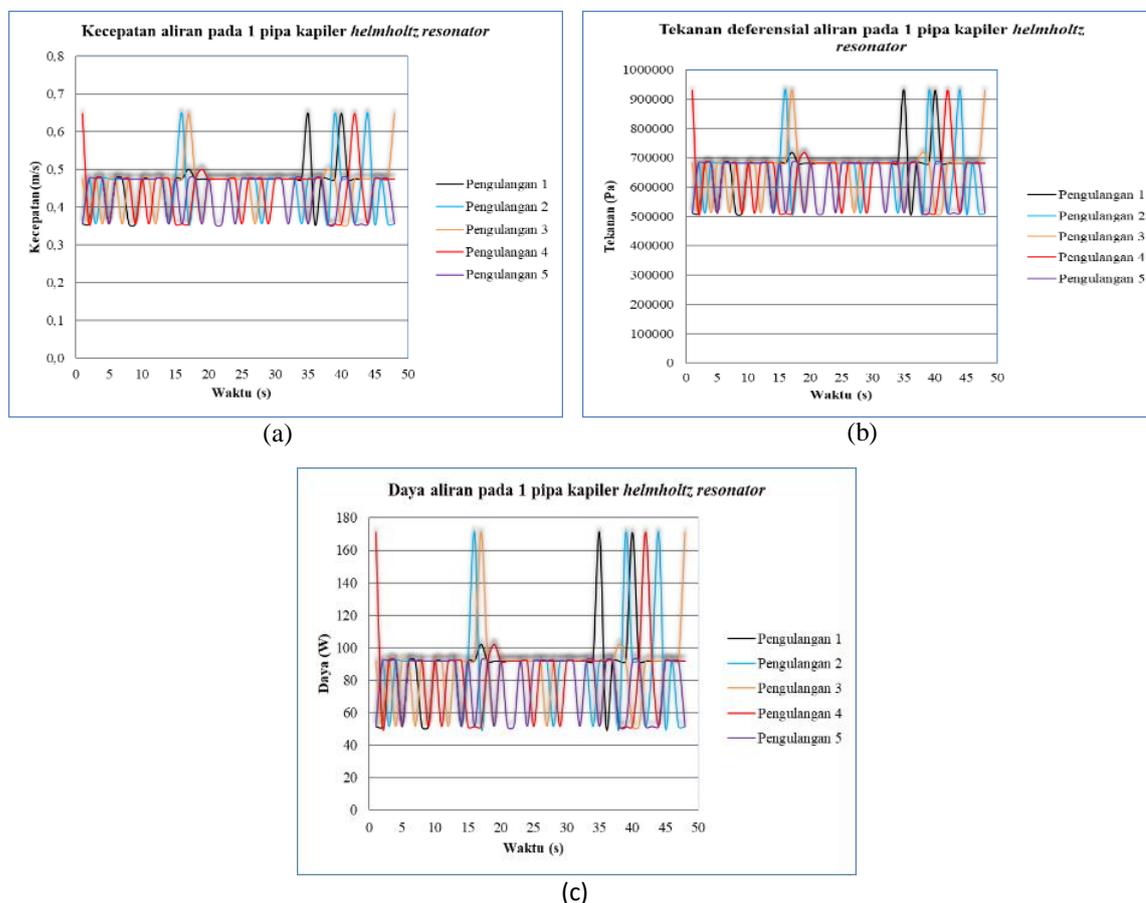
Setelah semua tahapan dilakukan sesuai mekanisme penelitian dan tahapan prosedur penelitian, dengan menggunakan *Sensor Flow Meter*, *Arduino Mega*, dan *Computer*, maka diperoleh data penelitian berupa kecepatan aliran (*Flow Rate*), tekanan diferensial aliran (*Current Liquid Flowing*), dan daya aliran (*Output Liquid Quantity*) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengolahan data untuk 5 pipa kapiler di tiap pengulangan untuk menentukan kecepatan,tekanan dan Daya rata-rata aliran fluida *Helmholtz resonator*

Jumlah Pipa kapiler	Waktu pengukuran aliran air (sec)	Kecepatan aliran fluida pada pipa output (m/s)					Tekanan aliran fluida pada pipa output (Pa)					Daya alir fluida pada pipa output (W)							
		1	2	3	4	5	Nilai	1	2	3	4	5	Nilai	1	2	3	4	5	Nilai
1	1, 16, 17, 35, 39, 40, 42, 44,48				✓		0,647924				✓		930373				✓		170,914353
2	15, 40, 43, 44	✓				0,647924	✓					930373	✓					170,914353	
3	21, 34, 40, 44,48				✓	0,647924				✓		930373				✓		170,914353	
4	4, 9, 14, 24, 29, 35, 41, 42, 43, 45 47				✓	0,647924				✓		930373			✓			170,914353	
5	26, 48	✓				0,647924	✓					930373	✓					170,914353	

a. Kecepatan aliran, tekanan diferensial aliran, dan daya aliran untuk percobaan 1 pipa kapiler

Untuk percobaan dengan 1 pipa kapiler *helmholtz resonator*, pada waktu 1,16, 17, 35, 39, 40, 42, 44, dan 48 det, kecepatan aliran sebesar 0,647924 m/s (Gambar 6.a), dan tekanan diferensial aliran sebesar 930373,00 Pa, (Gambar 6.b). Sementara, daya aliran sebesar 170,91353 W, tercapai pada pengulangan ke-4 (Gambar 6.c).



Gambar 6. Grafik percobaan 1 pipa kapiler

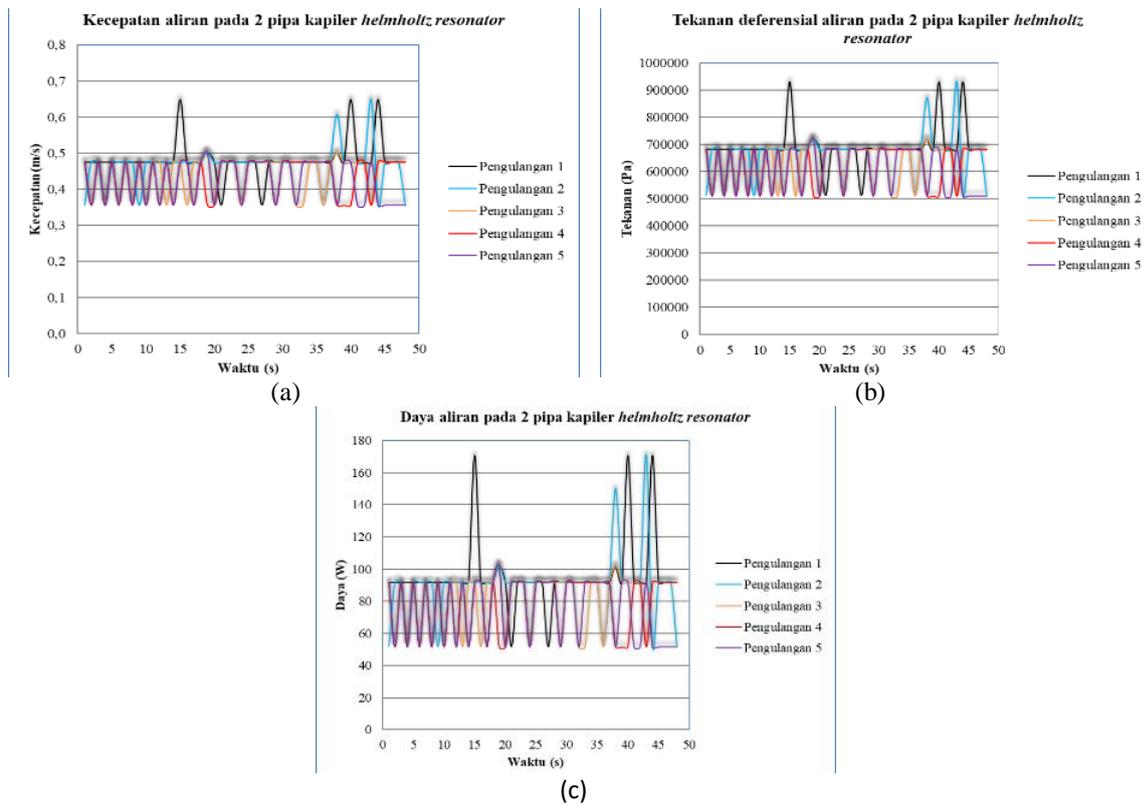
(a) kecepatan aliran, (b) tekanan diferensial aliran, (c) daya aliran

b. Kecepatan aliran, tekanan diferensial aliran, dan daya aliran untuk percobaan 2 pipa kapiler

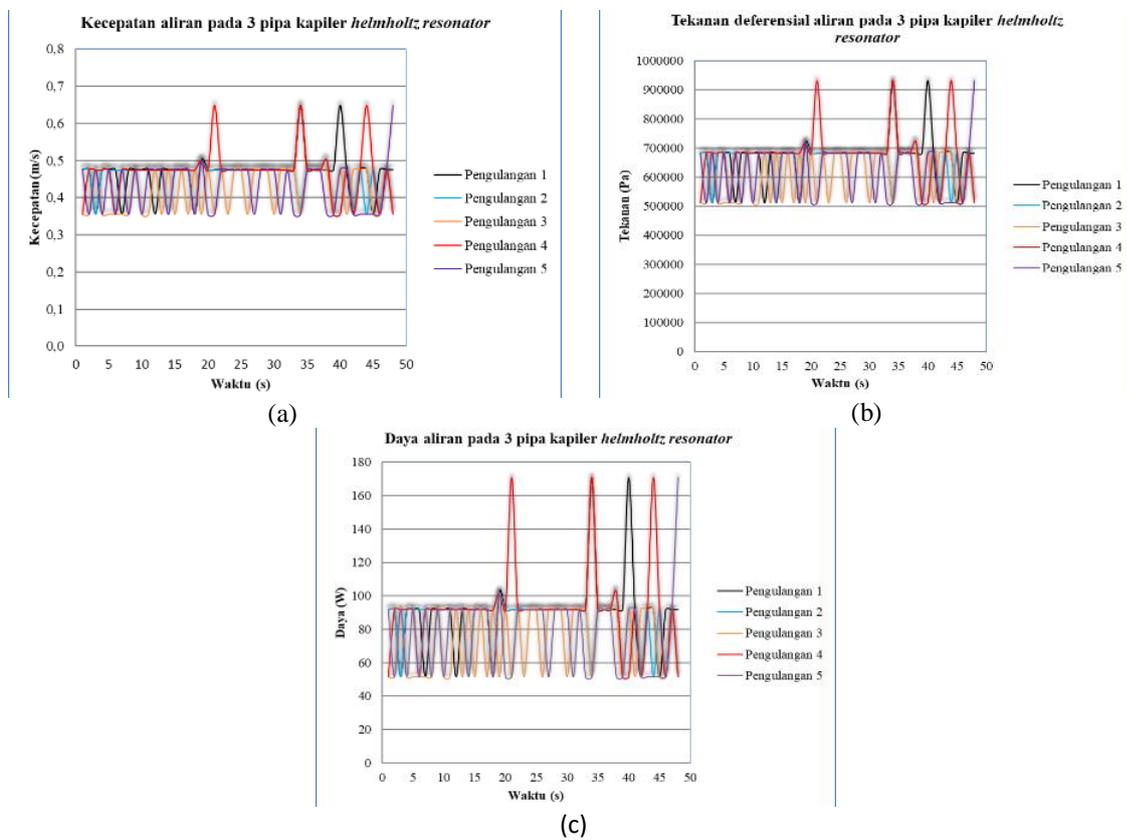
Untuk percobaan dengan 2 pipa kapiler *Helmholtz resonator*, tercatat bahwa pada waktu 15, 40, 43, dan 44 det, kecepatan aliran sebesar 0,647924 m/s, tercapai pada pengulangan ke-1 (Gambar 7.a). Pada waktu yang sama, tekanan diferensial aliran adalah sebesar 930373,00 Pa (Gambar 7.b). Sementara, Daya aliran sebesar 170,914353 W (Gambar 7.c).

c. Kecepatan aliran, tekanan diferensial aliran, dan daya aliran untuk percobaan 3 pipa kapiler

Pada percobaan dengan 3 pipa kapiler *Helmholtz resonator*, kecepatan aliran pada waktu 21, 34, 40, 44 dan 48 det, adalah sebesar 0,647924 m/s, yang tercapai pada pengulangan ke-4 (Gambar 8.a). Pada waktu yang sama, tekanan diferensial aliran adalah sebesar 930373,00 Pa (Gambar 8.b), sementara, daya aliran sebesar 170,914353 W (Gambar 8.c).



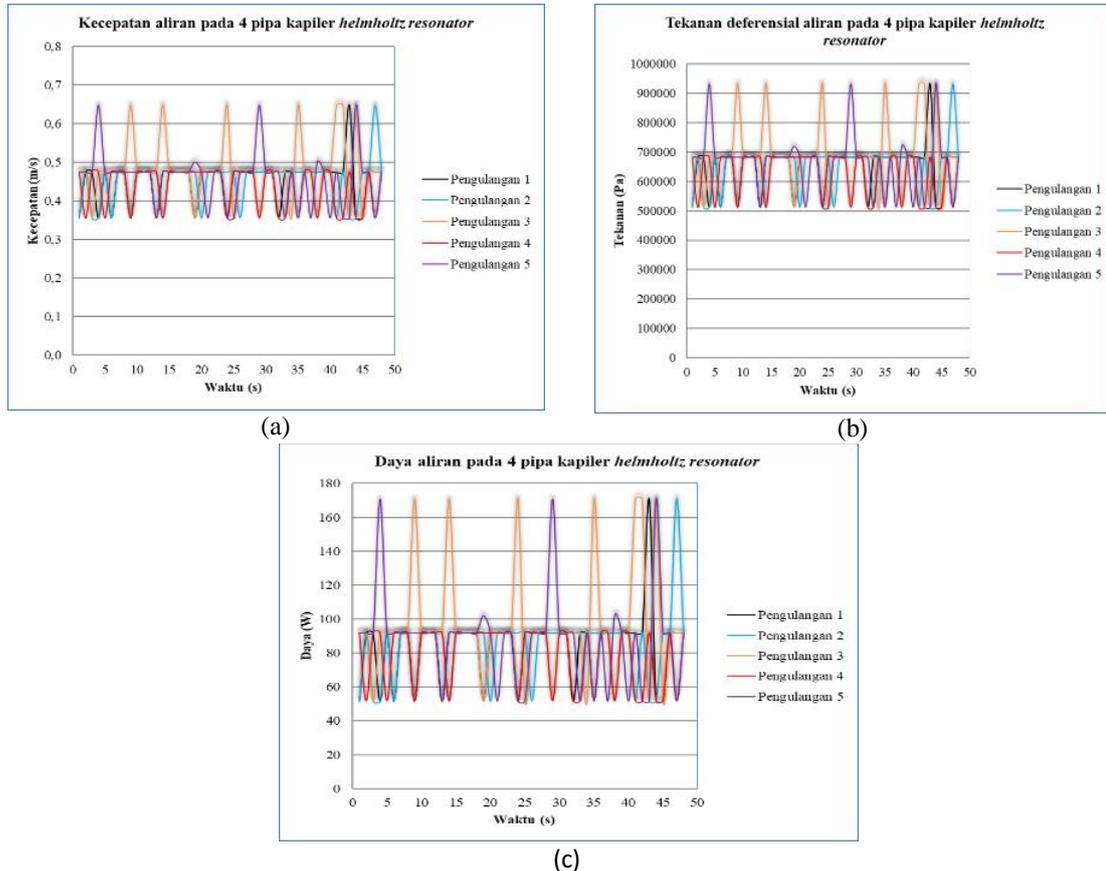
Gambar 7. Grafik percobaan 2 pipa kapiler
(a) kecepatan aliran, (b) tekanan diferensial aliran, (c) daya aliran



Gambar 8. Grafik percobaan 3 pipa kapiler
(a) kecepatan aliran, (b) tekanan diferensial aliran, (c) daya aliran

d. Kecepatan aliran, tekanan diferensial aliran, dan daya aliran untuk percobaan 4 pipa kapiler

Untuk percobaan dengan 4 pipa kapiler *helmholtz resonator*, pada waktu 4, 9, 14, 24, 29, 35, 41, 42, 43, 45, dan 47 det, kecepatan aliran sebesar 0,647924 m/s, tercapai pada pengulangan ke-3 (Gambar 9.a). Tekanan diferensial aliran sebesar 930373,00 Pa (Gambar 9.b), dan daya aliran sebesar 170,914353 W, tercapai pada pengulangan ke-3 (Gambar 9.c).



Gambar 9. Grafik percobaan 4 pipa kapiler
(a) kecepatan aliran, (b) tekanan diferensial aliran, (c) daya aliran

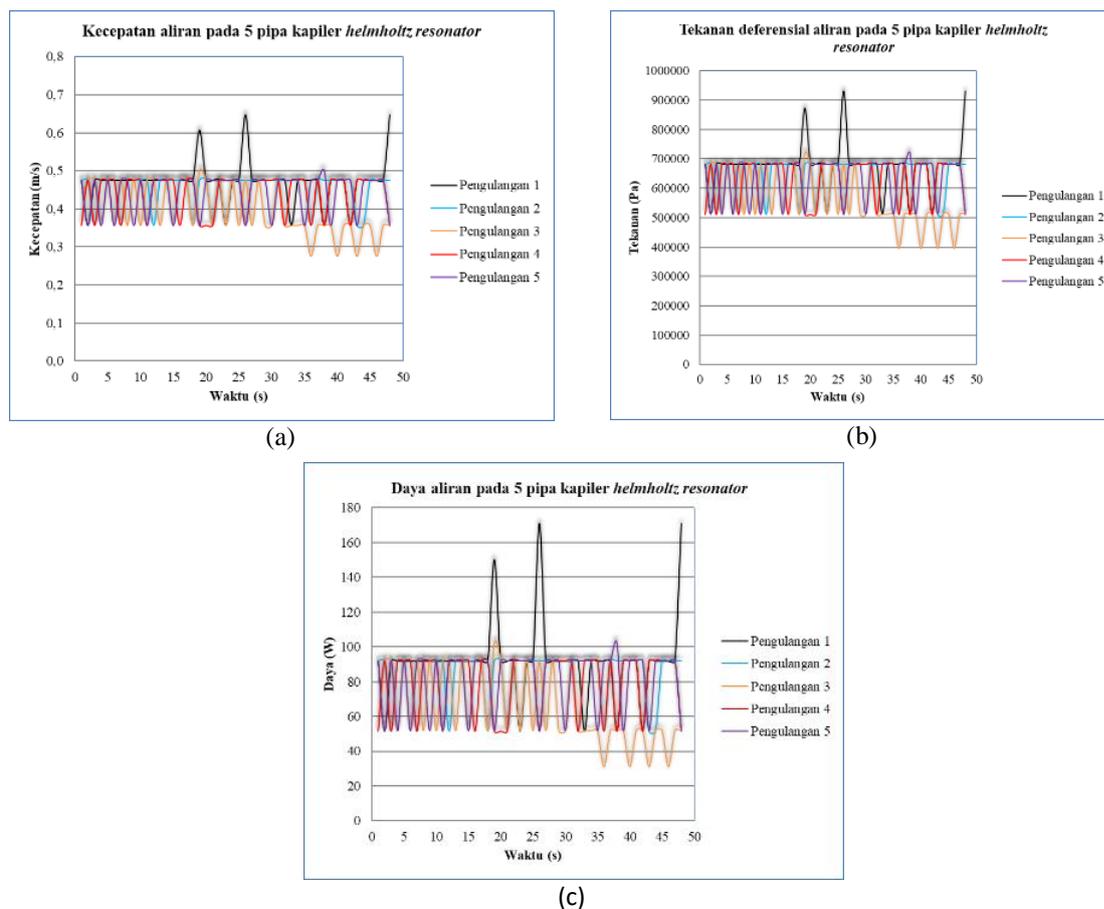
e. Kecepatan aliran, tekanan diferensial aliran, dan daya aliran untuk percobaan 5 pipa kapiler

Untuk percobaan dengan 5 pipa kapiler *helmholtz resonator*, pada waktu 26, dan 48 det, kecepatan aliran adalah sebesar 0,647924 m/s, tercapai pada pengulangan ke-1 (Gambar 10.a), tekanan diferensial aliran sebesar 930373,00 Pa (Gambar 10.b) dan daya aliran sebesar 170,914353 W (Gambar 10.c).

f. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data maka terlihat bahwa debit minimum dari perlakuan ke 1, 2, 3 dan 4 adalah 0,000102 m³/s, nilai kecepatan minimum 1,624310 m/s, tekanan minimum 511525,02 Pa, dan daya minimum sebesar 51,665198 W, sementara untuk perlakuan ke 5 debit minimumnya 0,000079 m³/s, nilai kecepatan minimum 0,275405 m/s, tekanan minimum 395426,25 Pa, dan daya alir minimum 30,879794 W. Pada grafik kecepatan, tekanan dan daya untuk kelima perlakuan terlihat bahwa:

1. Perlakuan pada 1 pipa kapiler *helmholtz resonator* pada pengulangan ke-4 tercapai kecepatan maksimum 0,647924 m/s, tekanan maksimum 930373,00 Pa, dan untuk daya alir maksimum sebesar 170,914353 W.



Gambar 10. Grafik percobaan 5 pipa kapiler
(a) kecepatan aliran, (b) tekanan diferensial aliran, (c) daya aliran

2. Perlakuan pada 2 pipa kapiler *helmholtz resonator* pada pengulangan ke-1 tercapai kecepatan maksimum 0,647924 m/s, tekanan maksimum 930373,00 Pa, dan untuk daya alir maksimum sebesar 170,914353 W.
3. Perlakuan pada 3 pipa kapiler *helmholtz resonator* pada pengulangan ke-4 tercapai kecepatan maksimum 0,647924 m/s, tekanan maksimum 930373,00 Pa, dan untuk daya alir maksimum sebesar 170,914353 W.
4. Perlakuan pada 4 pipa kapiler *helmholtz resonator* pada pengulangan ke-3 tercapai kecepatan maksimum 0,647924 m/s, tekanan maksimum 930373,00 Pa, dan untuk daya alir maksimum sebesar 170,914353 W.
5. Perlakuan pada 5 pipa kapiler *helmholtz resonator* pada pengulangan ke-1 tercapai kecepatan maksimum 0,647924 m/s, tekanan maksimum 930373,00 Pa, dan untuk daya alir maksimum sebesar 170,914353 W.

Sehingga disimpulkan kecepatan, tekanan dan daya aliran fluida terbaik pada variasi empat pipa kapiler dengan waktu 4, 9, 14, 24, 29, 35, 41, 42, 43, 45 dan 47 secon sedangkan pada variasi lima pipa kapiler tidak di rekomendasikan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setiap perlakuan mengalami peningkatan daya alir fluida setelah *diffuser*. Daya alir fluida setelah *diffuser* yang terbesar berada pada *helmholtz resonator* dengan jumlah 4 pipa kapiler yaitu sebesar 170,914353 Watt. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kinerja pompa *jet-ejector* dengan *helmholtz resonator* mengalami peningkatan sebesar 36% dari daya sebesar 125 Watt sebelum modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino.com. (2016). Arduino Mega. Diakses pada tanggal 20 Oktober 2021 pukul 15.00 WIT dari <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>.
- Bejan, A. (1984). *Convection Heat Transfer*, Wiley- Interscience, New York.
- Bortoluzzi Daniele, Vittore Cossalter, Alberto Doria. (1998). The Effect of Tunable Resonators on The Volumetric Efficiency of An Engine. SAE technical paper series 98MSE-10 NO. 983045.
- Chirstopher Earls Brennen. (1994). "Hydrodynamics of pumps"
- Claywell, Mark and Donald Horkheimer. (2006). Improvement of Intake Restrictor Performance for a Formula SAE Race Car through 1D & Coupled 1D/3D Analysis Methods. SAE 2006-01-3654.
- Faris, M., Utomo, T.S., and Syaiful. 2014. Pengaruh tekanan boiler dan variasi panjang throat terhadap performa steam ejector, *Jurnal Simetris*, vol. 5, no. 1, pp. 57-66
- Fox, Robert.W., et al (2008) "Introduction Fluid Mechanics"
- Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand Von (1821-1894) dalam Biografi MCN. Diperoleh pada 23 oktober 2021 dari MCN Biografi: mcnbiografias.com
- Hesketh, R.P., Fraser Russel, T. W., and Etchell, A.W. 1987. "Bubble Size in Horizontal Pipelines," *AIChE Journal*, Vol 33, No. 4.
- Ishii, M. and Mishima, K., (1984). "Two-Fluid Model and Hydrodynamic Constitutive Relations" *Nuclear Engineering and Design* 82, pp 107-126.
- Kolmogorov, A.N., (1949). *Doklady Akad. Nauk., SSSR*, Vol 66, 825,
- Kornhauser, A.A, Bunch, T.K., And ., M. p (1996). "Efficiency of a Flashing Flow Nozzle" *Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*.
- Louhenapessy, K. (2017). *Studi Eksperimental Pengaruh Pipa Kapiler Helmholtz Resonator Terhadap Tekanan Aliran Udara Supercharging-Aftercooler Pada Inlet Manifold. Ambon.*
- Rompis S. Y. R. (2012), "Traffic Flow Model and Shockwave Analysis", Old Dominion University Civil And Environmental Engineering.
- Ruang Trakroon, N., aphorntratana, S., Sriveerakul, T., (2011). Experimental studies of a steam jet refrigeration cycle : effect of the primary nozzle geometries to system performance. *Thermal and Fluid Science, ELSEVIER*
- Wan, D. A. (2004). "Two Degrees of Freedom Helmholtz Resonator Analysis".
- White F.M. (1991), "Fluid Mechanics", 2th edition, New York, United States of America, McGraw-Hill.
- Xioafeng Shi, C. M. (2013). Attenuation Performance of A Semi-Active Helmholtz Resonator In a Grazing Flow Duct. *Journal of Acoustics.*, 25-29
- Yuanita.F.A, dkk, (2019). Pengaruh Diameter Leher Resonator Helmholtz Pada Alat Pemanen Energi Akustik (Acoustic Energy Harvester) Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan. *Prosiding SNFA*, E-ISSN: 2548-8325