

RANCANG BANGUN *FLOWBENCH* UNTUK MESIN DUA *CYLINDER*¹ Carwita Sumawiharja, ² Muhammad Pramuda N. S.¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITENAS Bandung²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITENAS Bandung

Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124

Email : wiharharja@gmail.com**Abstract (English)**

A Flowbench is a testing device used to measure the airflow rate through the inlet and exhaust ports of a cylinder head. Commercial Flowbenches are generally designed for a single cylinder, which requires alternating tests and results in longer setup times. This study designed a dual-cylinder Flowbench with a measurement range of 50–200 CFM at a test pressure of 15 inH₂O. The measurement system employs a 55.5 mm orifice plate on a 109 mm pipe, with a U-tube manometer to measure the test pressure and an inclined manometer to measure the differential pressure (ΔP) across the orifice. A flow straightener consisting of 19 tubes, each 218 mm in length, was installed to stabilize the airflow. Verification tests were conducted using a Superflow SF-260 Flowbench. The results demonstrated consistent airflow data across repeated measurements and closely matched the reference device, indicating that the designed Flowbench can serve as an efficient alternative for multi-cylinder cylinder head testing.

Article History

Submitted: 5 September 2025

Accepted: 8 September 2025

Published: 9 September 2025

Key Words

Flowbench, airflow measurement, inlet port, exhaust port.

Abstrak (Indonesia)

Flowbench merupakan alat uji untuk mengukur debit aliran udara pada inlet dan exhaust port kepala silinder. Flowbench komersial umumnya hanya untuk satu silinder, sehingga pengujian harus dilakukan bergantian dan membutuhkan waktu setup lebih lama. Penelitian ini merancang Flowbench dua silinder dengan rentang 50–200 CFM pada tekanan uji 15 inH₂O. Sistem pengukuran menggunakan orifice Ø55,5 mm pada pipa Ø109 mm, dengan manometer U untuk mengukur tekanan uji dan manometer miring untuk mengukur perbedaan tekanan (ΔP) orifice. Flow straightener berupa 19 tube sepanjang 218 mm dipasang untuk menstabilkan aliran. Pengujian diverifikasi dengan Flowbench Superflow SF-260. Hasil menunjukkan data aliran konsisten pada ulangan dan mendekati hasil alat pembanding, sehingga Flowbench rancangan dapat digunakan sebagai alternatif efisien untuk pengujian cylinder head multi-silinder.

Sejarah Artikel

Submitted: 5 September 2025

Accepted: 8 September 2025

Published: 9 September 2025

Kata Kunci

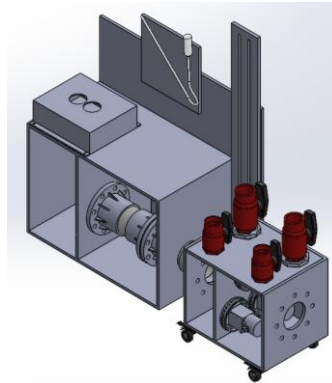
Flowbench, Alat Ukur Inlet port dan Exhaust Port

1. Pendahuluan

Pengukuran aliran udara merupakan salah satu aspek penting dalam bidang teknik otomotif, terutama aliran udara yang melewati inlet port dan exhaust port pada kepala silinder, untuk mengukur laju aliran udara pada inlet port dan exhaust port bisa dilakukan dengan menggunakan suatu alat ukur yang dinamakan Flowbench.

Flowbench dapat mengukur seberapa banyak udara yang dapat mengalir melalui saluran inlet port dan exhaust port pada kepala silinder. Maka dalam penelitian ini, akan dirancang dan dibangun sebuah alat ukur yang disebut Flowbench yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran udara. Tujuan utama dari penelitian ini adalah menghasilkan alat ukur yang memiliki akurasi tinggi, efisien dalam penggunaan, serta mampu memenuhi kebutuhan pengujian di bidang otomotif dengan biaya yang lebih terjangkau dibandingkan dengan alat komersial yang ada di pasaran.

Desain Flowbench pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.

Gambar 1. *Flowbench*

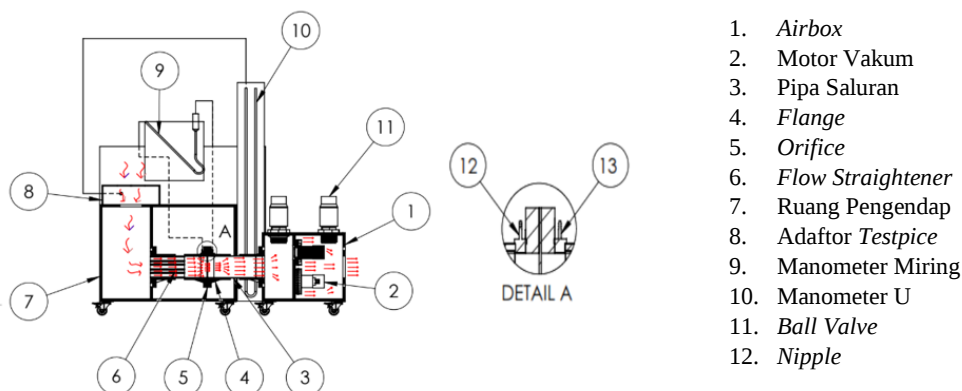
2. Metodologi

Dari hasil studi literatur dan beberapa wawancara terhadap bengkel sepeda motor dan pengguna *Flowbench* bahwa untuk menguji cylinder head sepeda motor 1 sampai 2 silinder biasanya menghasilkan aliran volumetrik sebesar 60 sampai 150 cfm pada tekanan uji 15 inch H₂O.

Untuk mengantisipasi adanya perubahan dan modifikasi yang sering dilakukan biasanya ada penambahan aliran volumetrik sekitar 10 sampai 40 cfm, maka pada penelitian ini akan dirancang *Flowbench* dengan kapasitas aliran volumetrik sebesar 200 cfm. Artinya *Flowbench* yang dibuat harus dapat mengalirkan volumetrik maksimum 200 cfm.

2.1. Perancangan *Flowbench*

Pada perancangan ini seluruh perhitungan dan pemilihan komponen akan mengacu pada standar pengukuran teknik yang berlaku, guna memastikan akurasi dan keandalan dari *Flowbench*. Setelah dilakukan perancangan *Flowbench* didapatkan beberapa komponen utama yang akan dibuat dan dibeli, berdasarkan skema pada Gambar 2.

Gambar 2. Skema *Flowbench*

2.2 Perhitungan Diameter Orifice

Dalam perhitungan untuk mendapatkan diameter *orifice* sesuai standar ISO 5167, maka terlebih dahulu mencari luas area *orifice* menggunakan persamaan dibawah ini.

- Menentukan luas area *orifice*

$$A_2 = \frac{\dot{M}_{max}}{C \cdot \epsilon \cdot E \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta P_{max}}} \quad (1)$$

$$A_2 = 0,00242503719 \text{ m}^2$$

Setelah dilakukan perhitungan, luas area *orifice* didapatkan sebesar 0,00242503719 m^2 . Luas area *orifice* telah didapatkan, maka dapat mencari diameter *orifice* menggunakan persamaan dibawah ini.

- Menentukan diameter *orifice*

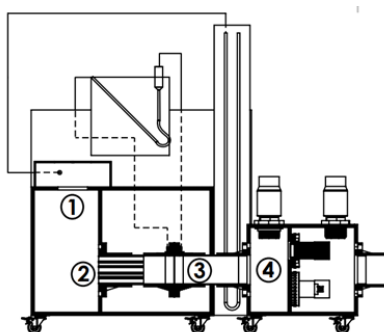
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_2}{\pi}} \quad (2)$$

$$d = 0,0555 \text{ m} = 55,5 \text{ mm}$$

Diameter *orifice* didapatkan sebesar 55,5 mm.

2.3 Perhitungan Daya Pompa Vakum

Untuk menentukan daya vakum yang dibutuhkan sebelumnya dicari dulu *pressure drop* pada setiap titik keadaan berdasarkan perubahan luas penampang pada sistem *flowbench*, terlihat pada gambar 3, ada 4 titik keadaan :



Gambar 3. Ttitik Keadaan *Pressure Drop*

Setelah *pressure drop* didapatkan maka selanjutnya ditentukan nilai *enthalpy* dan dimasukan kedalam persamaan daya $\dot{W}$ dengan menggunakan persamaan berikut

$$\dot{W} = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in}) \quad (3)$$

Maka didapatkan daya pompa sebesar 570 watt.

2.3 Pengujian *Cylinder head* pada *Flowbench*

- Verifikasi Pengujian dengan *Flowbench Superflow* SF-260

Untuk memverifikasi apakah *Flowbench* yang dibuat mempunyai hasil yang mendekati dengan *Flowbench* komersil standar industri maka dengan kondisi spesimen (*cylinder head*) yang sama terlebih dahulu akan diuji menggunakan *Flowbench superflow* sf-260, pengujian ini dilakukan hanya sebagai pembanding untuk mengetahui *Flowbench* yang dibuat apakah sudah layak dipakai sebagai alat ukur aliran udara pada *inlet port* dan *exhaust port* . Tujuannya adalah untuk menilai sejauh mana *Flowbench* buatan mampu memberikan hasil yang sebanding dalam mengukur aliran udara pada *inlet port* dan *exhaust port* . Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian dengan *Superflow* SF-260.

Tabel 1. Hasil Pengujian dengan *Superflow* SF-260

Lift (mm)	Inlet port	Exhaust port	Lift (mm)	Inlet port	Exhaust port
	Flow (CFM)	Flow (CFM)		Flow (CFM)	Flow (CFM)
1	12,3	12,2	6	64,4	61,7
2	28,1	25,4	7	67,4	63,3
3	42,1	45,1	8	67,7	63,4
4	53,9	56	9	67,6	63,8

<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>	<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>
	<i>Flow</i> (CFM)	<i>Flow</i> (CFM)		<i>Flow</i> (CFM)	<i>Flow</i> (CFM)
5	60,6	59,2	10	67,6	64,1

- Pengujian *Flowbench* yang Telah Dibuat

Pada pengujian ini ada beberapa proses pengambilan data diantaranya :

- a. Pengambilan data *inlet port* dan *exhaust port* dengan keadaan satu *cylinder*.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat data pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Keadaan Satu *Cylinder Head*

Keadaan Satu <i>Cylinder Head</i>					
<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>	<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>
	ΔP	ΔP		ΔP	ΔP
	(inH ₂ O)	(inH ₂ O)		(inH ₂ O)	(inH ₂ O)
1	0	0	6	1.1	1
2	0.2	0.1	7	1.2	1
3	0.5	0.4	8	1.2	1
4	0.8	0.8	9	1.2	1
5	1	0.9	10	1.2	1

- b. Pengambilan data *inlet port* dan *exhaust port* dengan keadaan dua *cylinder*.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah *Flowbench* yang dibuat masih mampu membaca hasil aliran udara yang lebih besar dan masih dalam batas range pengukuran sesuai identifikasi kebutuhan awal. Dari pengujian ini didapat data pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Pengujian Keadaan Dua *Cylinder Head*

Keadaan Dua <i>Cylinder Head</i>					
<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>	<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>	<i>Exhaust port</i>
	ΔP	ΔP		ΔP	ΔP
	(inH ₂ O)	(inH ₂ O)		(inH ₂ O)	(inH ₂ O)
1	0.2	0.1	6	4.4	4.2
2	0.9	0.7	7	4.4	4.3
3	2	1.8	8	4.4	4.3
4	3.2	3	9	4.4	4.4
5	4.1	4	10	4.4	4.4

c. Pengujian berulang.

Pada proses pengambilan data ini dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali, data pengujian berulang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berulang

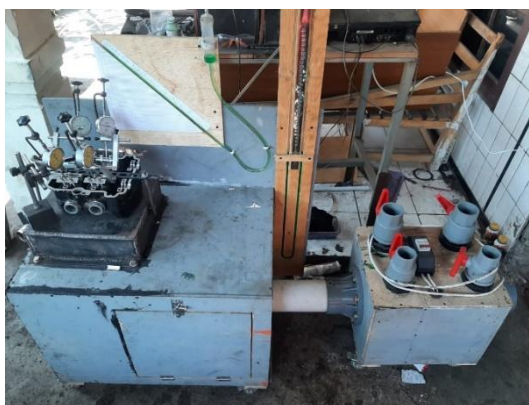
<i>Lift</i> (mm)	Run 1 ΔP (inH ₂ O)	Run 2 ΔP (inH ₂ O)	Run 3 ΔP (inH ₂ O)	<i>Lift</i> (mm)	Run 1 ΔP (inH ₂ O)	Run 2 ΔP (inH ₂ O)	Run 3 ΔP (inH ₂ O)
1	0.2	0.2	0.2	6	4.4	4.4	4.4
2	0.9	1	1	7	4.4	4.4	4.4
3	2	2	2.1	8	4.4	4.4	4.4
4	3.2	3.1	3.2	9	4.4	4.4	4.5
5	4.1	4.2	4.2	10	4.4	4.4	4.5

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perancangan

Flowbench dua silinder dirancang menggunakan pipa utama berdiameter 4 inci, *orifice* berdiameter 55,5 mm, jarak pengambilan tekanan *pressure tapping* 1 inci dari muka *orifice*, serta *flow straightener* sepanjang 218 mm. Rentang pengukuran yang ditargetkan adalah 50–200 CFM, dengan kecermatan pembacaan 0,1 inH₂O.

Berdasarkan perhitungan daya, motor vakum minimal yang diperlukan adalah 0,57 kW (570 watt) untuk mencapai aliran 200 CFM pada tekanan uji 15 inH₂O, dengan laju aliran massa 0,1117572 kg/s. Perhitungan ini menggunakan persamaan $\dot{W} = \dot{m} \times (h_{out} - h_{in})$, di mana entalpi sisi masuk 293,05 kJ/kg dan entalpi sisi keluar 298,15 kJ/kg. Pada Gambar 3 adalah *Flowbench* yang telah dibuat dan dirakit.

Gambar 4. *Flowbench* yang Telah Dibuat

3.2 Analisis Data Pengujian

Data primer yang diperoleh dari pengukuran berupa perbedaan tekanan (ΔP) pada manometer diolah terlebih dahulu menjadi debit volumetrik udara dalam satuan CFM. Hal ini dilakukan karena alat ukur hanya menampilkan beda tekanan, sedangkan parameter utama yang ingin dianalisis adalah laju aliran volumetrik udara.

Untuk mengubah data primer tersebut menjadi debit volumetrik digunakan persamaan perhitungan yang telah ditetapkan pada tahap perancangan, yaitu :

$$Q = \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_{max}}} \times 200 \quad (4)$$

Keterangan :

Q = debit volumetrik udara (CFM)

ΔP = beda tekanan hasil pengukuran (inH₂O)

ΔP_{max} = beda tekanan maksimum pengujian, yaitu 10 inH₂O

200 = kapasitas maksimum debit yang dirancang pada kondisi ΔP_{max} (CFM)

Ambil contoh salah satu perhitungan dari hasil pengujian *inlet port* keadaan satu *cylinder*, misalnya pada *lift* 10 mm dengan $\Delta P = 1,2$ inH₂O.

$$Q = \sqrt{\frac{1,2 \text{ inH}_2\text{O}}{10 \text{ inH}_2\text{O}}} \times 200 \text{ CFM} = 69,28 \text{ CFM}$$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat data aliran debit pada Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian Keadaan Satu Cylinder

Keadaan Satu Cylinder Head				
Lift (mm)	Inlet port		Exhaust port	
	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)
1	0	0.00	0	0.0
2	0.2	28.28	0.1	20.0
3	0.5	44.72	0.4	40.0
4	0.8	56.57	0.8	56.6
5	1	63.25	0.9	60.0
6	1.1	66.33	1	63.2
7	1.2	69.28	1	63.2
8	1.2	69.28	1	63.2
9	1.2	69.28	1	63.2
10	1.2	69.28	1	63.2

Setelah diperoleh hasil pengujian pada keadaan satu *cylinder*, tahap berikutnya adalah melakukan analisis verifikasi dengan membandingkan hasil tersebut terhadap *Superflow SF-260*. Perbandingan ini menjadi acuan utama dalam menilai sejauh mana kinerja *Flowbench* yang dibuat mendekati standar alat uji yang lebih dipercaya, dengan data hasil perbandingan disajikan pada Tabel 6 dan 7 sebagai berikut.

Tabel 6. Perbandingan Error Inlet port Antara Flowbench yang Dibuat dengan Superflow SF-260

Flow Inlet port Satu Cylinder					
Flowbench yang Dibuat			Superflow SF-260		Perbedaan (Error %)
Lift (mm)	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)	Lift (mm)	Flow (CFM)	
1	0	0.00	1	12,3	-100.00
2	0.2	28.28	2	28,1	0.66
3	0.5	44.72	3	42,1	6.23

4	0.8	56.57	4	53,9	4.95
5	1	63.25	5	60,6	4.37
6	1.1	66.33	6	64,4	3.00
7	1.2	69.28	7	67,4	2.79
8	1.2	69.28	8	67,7	2.34
9	1.2	69.28	9	67,6	2.49
10	1.2	69.28	10	67,6	2.49

Tabel 7. Perbandingan *Error Exhaust port* Antara *Flowbench* yang Dibuat dengan *Superflow SF-260*

<i>Flow Exhausts Port Satu Cylinder</i>					
<i>Flowbench yang Dibuat</i>			<i>Superflow SF-260</i>		Perbedaan (<i>Error</i> %)
<i>Lift</i> (mm)	ΔP (inH ₂ O)	<i>Flow</i> (CFM)	<i>Lift</i> (mm)	<i>Flow</i> (CFM)	
1	0	0.0	1	12,2	-100.00
2	0.1	20.0	2	25,4	-21.26
3	0.4	40.0	3	45,1	-11.31
4	0.8	56.6	4	56	1.02
5	0.9	60.0	5	59,2	1.35
6	1	63.2	6	61,7	2.50
7	1	63.2	7	63,3	-0.09
8	1	63.2	8	63,4	-0.24
9	1	63.2	9	63,8	-0.87
10	1	63.2	10	64,1	-1.33

Dari hasil perbandingan dengan Superflow SF-260 pada rentang ≥ 50 CFM menunjukkan *error* ± 4 -5% pada *inlet port* dan ± 2 -3% pada *exhaust port*. Berdasarkan hasil tersebut, alat ini dinyatakan layak digunakan. Selanjutnya, analisis data dilakukan dengan kondisi dua *cylinder* untuk mengetahui apakah *Flowbench* yang dibuat masih dapat membaca aliran udara dengan kapasitas yang lebih besar dan tetap berada dalam batas range pengukuran sesuai identifikasi kebutuhan awal. Dari hasil pengujian ini diperoleh data pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil Pengujian Keadaan Dua *Cylinder*

Keadaan Dua <i>Cylinder Head</i>				
<i>Lift</i> (mm)	<i>Inlet port</i>		<i>Exhaust port</i>	
	ΔP (inH ₂ O)	<i>Flow</i> (CFM)	ΔP (inH ₂ O)	<i>Flow</i> (CFM)
1	0.2	28.28	0.1	20.00
2	0.9	60.00	0.7	52.92
3	2	89.44	1.8	84.85
4	3.2	113.14	3	109.54
5	4.1	128.06	4	126.49
6	4.4	132.66	4.2	129.61
7	4.4	132.66	4.3	131.15
8	4.4	132.66	4.3	131.15
9	4.4	132.66	4.4	132.66

Keadaan Dua *Cylinder Head*

Lift (mm)	Inlet port		Exhaust port	
	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)
10	4.4	132.66	4.4	132.66

3.3 Analisis Data Pengujian Berulang

Pada proses pengambilan data ini dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali, lalu dicari nilai deviasi ketidakpastian dari *Flowbench* yang telah dibuat dengan persamaan :

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

Keterangan :

RSD : Relative standar deviasi

S : Standar deviasi

x_i : Nilai data pengujian

$\bar{x}$: Nilai rata-rata data pengujian

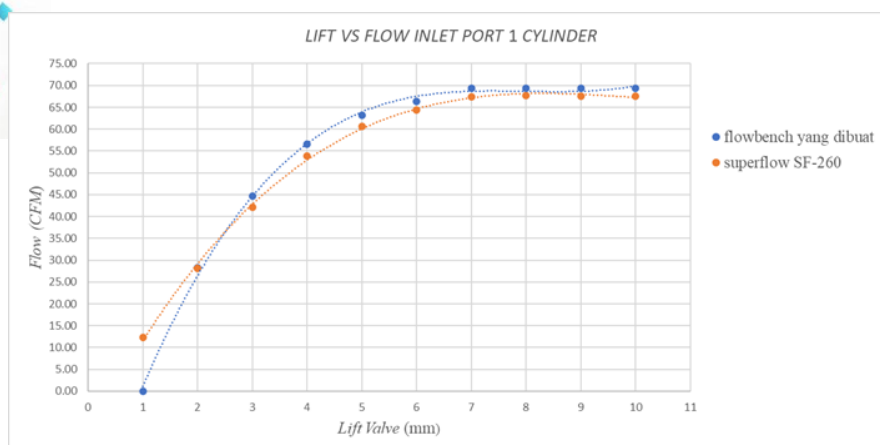
n : Banyaknya jumlah data pengujian

Dari hasil pengujian serta perhitungan menggunakan microsoft excel didapat data seperti pada Tabel 9 sebagai berikut :

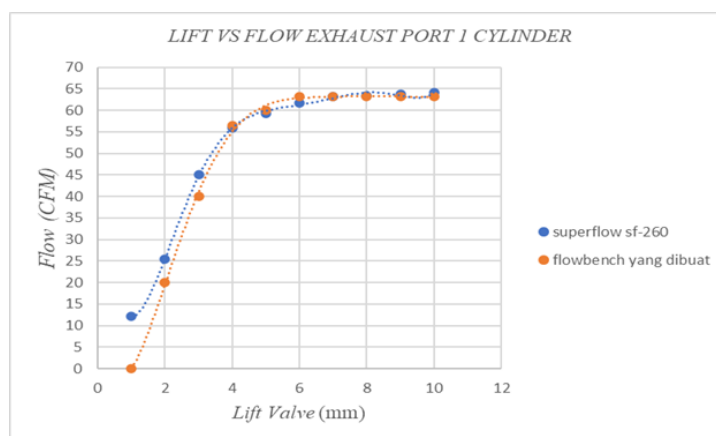
Tabel 9. Hasil Pengujian Berulang

Lift (mm)	Run 1		Run 2		Run 3		Average Flow	Standar Deviasi	RSD
	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)	ΔP (inH ₂ O)	Flow (CFM)			
1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.00	0.00%
2	0.2	28.3	0.2	28.3	0.2	28.3	28.3	0.00	0.00%
3	0.5	44.7	0.5	44.7	0.5	44.7	44.7	0.00	0.00%
4	0.8	56.6	0.7	52.9	0.7	52.9	54.1	2.11	3.90%
5	1	63.2	0.9	60.0	1	63.2	62.2	1.87	3.01%
6	1.1	66.3	1.2	69.3	1.1	66.3	67.3	1.70	2.53%
7	1.2	69.3	1.2	69.3	1.2	69.3	69.3	0.00	0.00%
8	1.2	69.3	1.1	66.3	1.1	66.3	67.3	1.70	2.53%
9	1.2	69.3	1.2	69.3	1.2	69.3	69.3	0.00	0.00%
10	1.2	69.3	1.3	72.1	1.2	69.3	70.2	1.63	2.33%

3.4 Grafik Hasil Pengujian

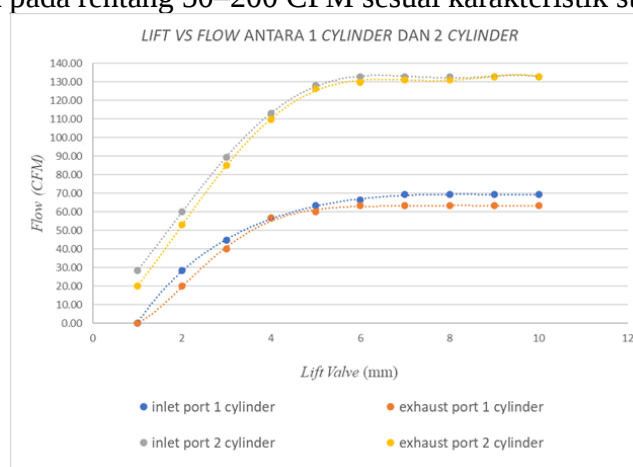


Gambar 5. Grafik Lift vs Flow Inlet port 1 Cylinder



Gambar 6. Grafik Lift vs Flow Exhaust port 1 Cylinder

Grafik pengujian menunjukkan bahwa pada debit 0–50 CFM, *error* pengukuran *flowbench* rancangan relatif tinggi (>20%). Namun, pada debit 50–200 CFM selisih menurun, yaitu $\pm 4\text{--}5\%$ pada inlet dan $\pm 2\text{--}3\%$ pada exhaust. Pola ini konsisten dengan standar ISO 5167, di mana kesalahan besar terjadi pada aliran rendah (<20% kapasitas) dan menurun stabil di bawah $\pm 5\%$ setelah >40% kapasitas. Dengan demikian, *flowbench* yang dirancang terbukti dapat beroperasi baik pada rentang 50–200 CFM sesuai karakteristik standar ISO 5167.



Gambar 7. Grafik Lift vs Flow Antara 1 Cylinder dan 2 Cylinder

Grafik ini memperlihatkan bahwa flowbench mampu digunakan untuk pengujian dua silinder. Nilai debit udara yang dihasilkan tetap berada dalam rentang perancangan, yaitu 50–200 CFM, sehingga alat dapat bekerja sesuai kapasitas yang dirancang.

4. Kesimpulan

Flowbench dua silinder berhasil dirancang dan dibuat dengan kombinasi plenum, pipa PVC, serta metode pengukuran *orifice* menggunakan manometer U dan miring. Alat ini mampu bekerja stabil pada tekanan uji 15 inH₂O dengan kapasitas 50–200 CFM. Hasil verifikasi terhadap Superflow SF-260 menunjukkan tingkat ketelitian masih dalam batas toleransi, dengan *error* $\pm 4\text{--}5\%$ pada inlet dan $\pm 2\text{--}3\%$ pada exhaust. Pada aliran rendah (<50 CFM), keterbatasan *orifice* menyebabkan *error* meningkat, sementara SF-260 lebih unggul karena memiliki sembilan *orifice*.

Pengujian berulang menunjukkan presisi $\pm 3,9\%$, menandakan variasi data antar percobaan kecil dan konsisten. Desain dua *port* juga meningkatkan efisiensi setup karena tidak perlu perpindahan adaptor, sehingga produktivitas uji lebih baik dibandingkan *Flowbench* satu *port*. Dengan demikian, *Flowbench* ini dapat menjadi alternatif alat uji *cylinder head* dua *cylinder*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bell, A. G. (1981). *Four Stroke Performance Tuning*. England: Haynes Publication Group.
- Bentley, J. P. (2005). *Principles Of Measurment Systems*. England: Pearson Education.
- Choate, R. S. (2007). *Air Flow Test Bench: A Senior Capstone Project*. Proceedings Of The ASEE Annual Conference & Exposition.
- Corrao, N. (2014). *Design, Construction And Testing Of Square-Edge Orifice Meter Flowbench For Automotive Use*. California State Polytechnic University, Pomona.
- Hearth, D. (2008). *Cylinder Head Flowbench*. OMI College Of Applied Science.
- Holman, J. (1985). *Metode Pengukuran Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Munson, B. R. (2004). *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Pritchard, P. J. (2011). *Fox An Mcdonald's Introduction To Fluid Mechanics*. United State Of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Ryan Eckl, C. J. (2008). *An Inexpensive Flow-Bench For Mechanical Engineering Labs*. Arkanas Tech University.
- Superflow. (2005). *SF 110/120 Flowbench Operator's Manual*. Superflow Technologis Group.
- Vizard's, D. (2012). *How To Port & Flow Test Cylinder Head*. Grand Avenue: Cartechbooks.