



Redesign dan Analisa Pengaruh Pembukaan Katup Pengatur Tekanan Udara (Regulator Valve) dan Diameter Silinder Pneumatik Terhadap Performa Mesin Pemotong Spons Alas Sepatu

Muhammad Ilham Ramadhan (Mahasiswa), Muhammad Aldo Ian Bastian (Mahasiswa), Ir. Ninik Martini, M.T (Dosen Pembimbing)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: milhamram112@gmail.com, aldobastian18@gmail.com

ABSTRAK

Permintaan akan alas sepatu yang terbuat dari spons masih cukup tinggi, terutama di wilayah Indonesia. Dikarenakan pemakaiannya sepatu dalam waktu yang lama menyebabkan alas sepatu menjadi keras dan tidak nyaman lagi untuk dipakai. Untuk menambah kenyamanan dalam mengenakan sepatu pemberian spons alas sepatu dapat menjadi solusi. Pada umumnya spons alas sepatu industri menengah kebawah kebanyakan masih menggunakan alat sederhana untuk memproduksinya. Penggunaan sistem pneumatik bisa menjadi alternatif untuk mempermudah dan memperbesar jumlah produksi. Dalam alat pemotong spons alas sepatu, sistem pneumatik digunakan sebagai alat penggerak utama pisau untuk memotong lembaran spons alas sepatu. Pneumatik yang digunakan adalah diameter 32mm, 50mm, dan 80mm dengan pemberian tekanan pada masing masing pneumatik sebesar 2bar, 3bar, 4bar, 5 bar, 6bar, dan 7bar. Dari pemberian tekanan yang berbeda pada variabel diameter pneumatik akan menimbulkan gaya tekan dan momentum yang akan menggerakkan penumbuk untuk memberi tekanan pada spons eva 2mm agar dapat terpotong sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan. Dari uraian diatas, maka dengan adanya perbedaan hasil pemotongan yang dihasilkan oleh gaya tekan dan momentum yang diberikan masing-masing pneumatik. Hasil pemotongan yang paling baik pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan yang diberikan sebesar 6bar dan 7bar. Pada pneumatik 32mm menghasilkan gaya tekan sebesar 482,544 N pada tekanan 6bar dan 562,968 N pada tekanan 7 bar. Pada pneumatic 32mm juga menghasilkan momentum tumbukan sebesar 6,761 kg m/s. Untuk menjalankan satu kali system kerja pemotongan pneumatik 32mm membutuhkan debit udara sebesar $9,932 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ pada tekanan 6bar dan $13,239 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ pada tekanan 7 bar.

Kata kunci : Alas Sepatu, Pneumatik, Tekanan, Gaya Tekan, Momentum

ABSTRACT

The demand for shoe pads made from sponges is still quite high, especially in Indonesia. Because wearing shoes for a long time causes the shoe base to become hard and uncomfortable to wear. To add comfort in wearing shoes, giving a shoe pad sponge can be a solution. In general, shoe pads for the middle and lower industries mostly still use simple tools to produce them.

The use of a pneumatic system can be an alternative to simplify and increase the amount of production. In a underlay sponge cutting tool, a pneumatic system is used as the main drive

tool for the blade to cut the sheet overboard sponge. The tyres used are 32mm, 50mm and 80mm in diameter with the pressure applied to each tyre of 2bar, 3bar, 4bar, 5bar, 6bar and 7bar. Applying different pressure to the pneumatic variable diameter will cause a compressive force and momentum that will move the poulder to put pressure on the 2mm EVA sponge so that it can be cut according to the desired mold shape.

From the description above, there is a difference in the cutting results produced by the compressive force and momentum given by each pneumatic. The best cutting results on pneumatic diameter of 32mm with a given pressure of 6bar and 7bar. The 32mm pneumatic produces a compressive force of 482.544 N at a pressure of 6bar and 562.968 N at an pressure of 7 bar. The 32mm pneumatic also produces a collision momentum of 6,761 kg m/s. To run once the 32mm pneumatic cutting system requires an air discharge of $9,932 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ at a pressure of 6bar and $13,239 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ at an pressure of 7 bar.

Keywords : Force, Momentum, Pneumatic, Pressure, Shoe Pad

PENDAHULUAN

Pneumatik adalah sebuah alat penggerak yang memanfaatkan kompresi udara sebagai sumber utama penggerak alat ini. Pneumatik pada umumnya digunakan pada beberapa part untuk kendaraan dan juga biasanya digunakan di beberapa alat industri. Penggunaannya yang mudah, bahan baku udara yang mudah didapatkan, dan penggunaannya yang lebih bersih menjadi salah satu keunggulan dari pneumatik.

Pneumatik memiliki kemampuan menyerap kejutan yang berlebihan karena udara memiliki sifat kompresibel dan dapat dijalankan secara otomatis. Pada umumnya sistem pneumatik bekerja pada tekanan sekitar 8 s.d 10 bar. Dengan demikian, pneumatik umumnya digunakan ketika beban kerja yang tidak terlalu besar.

Aktuator adalah alat penggerak yang mengubah energi masukan menjadi energi gerak. Gerakan yang dihasilkan dapat dikontrol oleh sistem kontrol dan aktuator bertanggung jawab pada sinyal kontrol melalui elemen kontrol penggerak.

Aktuator pneumatik dapat digolongkan menjadi 2 kelompok :

1. Gerakan lurus (gerakan linear) :

- Silinder kerja tunggal.
- Silinder kerja ganda.

2. . Gerakan putar :

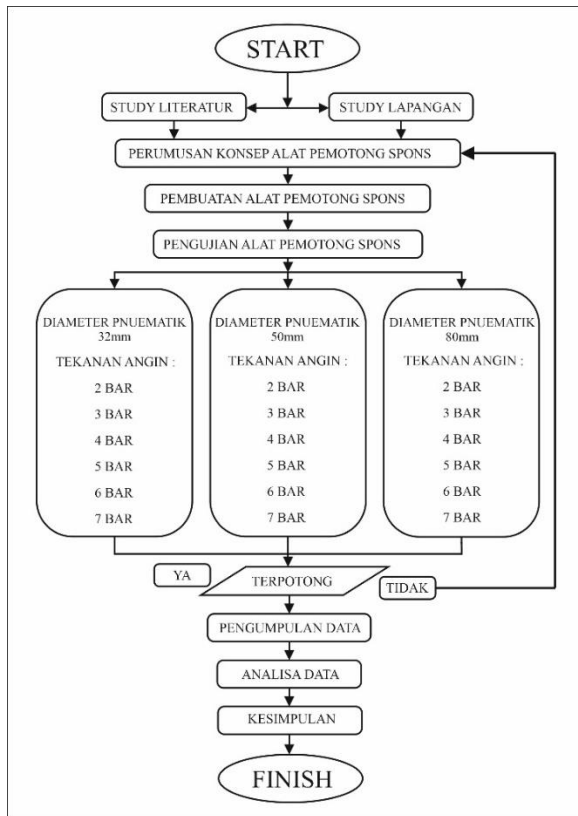
- Motor udara

- Aktuator yang berputar (ayun)

Dengan memasukkan udara bertekanan pada permukaan piston yang tidak ada batang pistonnya pneumatik akan bergerak keluar dan berhenti ketika mencapai posisi maksimal (arah maju), sedangkan dengan memasukkan udara pada sisi sebaliknya pneumatik akan bergerak masuk dan berhenti ketika mencapai posisi maksimal (arah mundur). Pada posisi arah maju kompresi udara dimasukkan hingga piston bergerak maksimal dan kondisi tekanan udara sesuai dengan yang diinginkan, sedangkan udara yang berada didalam pneumatik dipaksa keluar ke atmosfer karena perbedaan tekanan yang ada pada salah satu sisi pneumatik. Salah satu keuntungan silinder kerja ganda adalah dapat diberi beban pada kedua arah gerakan batang pistonnya. Ini memungkinkan pemasangannya lebih fleksibel.

Gaya yang diberikan pada batang piston gerakan keluar lebih besar daripada gerakan masuk, ini dikarenakan tekanan yang bekerja pada arah maju bekerja pada luas permukaan yang lebih besar daripada arah mundur. Pada arah mundur terdapat batang piston yang mengurangi luas permukaan piston, sehingga tekanan bekerja pada luas permukaan yang lebih kecil dari arah maju.

METODE PENELITIAN



Gambar Alat Pemotong Spons Alas Sepatu

DASAR TEORI

- Kecepatan Torak

$$V_{maju} = Q/A$$

$$V_{mundur} = Q/A_n$$

Dimana :

- V = Kecepatan torak (m^2/s)
- Q = Debit aliran udara (m^3/s)

$$A = \text{Luas Penampang Torak (} m^2 \text{)}$$

$$A_n = A - A_k (m^2)$$

- Momentum

$$p = m \times v$$

Dimana :

- p = Momentum ($kg \ m/s$)
- m = Massa (kg) = 3,2kg
- v = Kecepatan (m/s)

- Gaya

$$F_{maju} = P_e \cdot A$$

$$F_{mundur} = P_e \cdot A_n$$

Dimana :

- F = Gaya torak (N),
- P_e = Tekanan kerja/efektif (N/m^2)
- A = Luas Penampang (m^2)
- A_n = $A - A_k$ (m^2)

- Udara yang diperlukan

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Naik} = A_n \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

- Q = Debit aliran udara (m^3/s)
- S = Langkah torak (m)
- P_e = Tekanan (N/m^2)
- A = Luas Penampang (m^2)
- A_n = $A - A_k$ (m^2)
- n = Banyaknya langkah ($kali/s$)
- P_{atm} = 14,7 psi = 101352,9 N/m^2

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar hasil pengujian pada pneumatik 32 dengan tekanan 7 bar



Gambar hasil pengujian pada pneumatik 50 dengan tekanan 7 bar



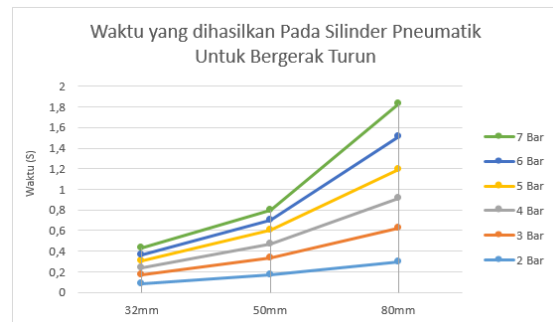
Gambar hasil pengujian pada pneumatik 80 dengan tekanan 7 bar

• Hubungan Tekanan dan Waktu Turun

NO	Tekanan (bar)	Diameter tabung (mm)	Kecepatan pemotongan (s)	Rata rata kecepatan pemotongan (s)	Ketebalan Spons (mm)	Mampu potong (mm)
1	2	32	1) 0,10 2) 0,07 3) 0,09	0,086	2	2
2	3	32	1) 0,07 2) 0,09 3) 0,08	0,08	2	2
3	4	32	1) 0,08 2) 0,07 3) 0,06	0,07	2	2
4	5	32	1) 0,07 2) 0,08 3) 0,06	0,07	2	2
5	6	32	1) 0,06 2) 0,06 3) 0,06	0,06	2	2
6	7	32	4) 0,06 5) 0,06 6) 0,06	0,06	2	2

NO	Tekanan (bar)	Diameter tabung (mm)	Kecepatan pemotongan (s)	Rata rata kecepatan pemotongan (s)	Ketebalan Spons (mm)	Mampu potong (mm)
1	2	50	1) 0,19 2) 0,15 3) 0,17	0,17	2	0,38
2	3	50	1) 0,15 2) 0,16 3) 0,18	0,163	2	0,60
3	4	50	1) 0,13 2) 0,15 3) 0,14	0,14	2	0,71
4	5	50	1) 0,13 2) 0,13 3) 0,13	0,13	2	1
5	6	50	1) 0,09 2) 0,11 3) 0,10	0,10	2	1,08
6	7	50	4) 0,10 5) 0,10 6) 0,09	0,096	2	1,28

NO	Tekanan (bar)	Diameter tabung (mm)	Kecepatan pemotongan (s)	Rata rata kecepatan pemotongan (s)	Ketebalan Spons (mm)	Mampu potong (mm)
1	2	80	1) 0,30 2) 0,31 3) 0,30	0,30	2	0,42
2	3	80	1) 0,33 2) 0,32 3) 0,31	0,32	2	0,65
3	4	80	1) 0,28 2) 0,29 3) 0,31	0,293	2	0,77
4	5	80	1) 0,27 2) 0,29 3) 0,29	0,283	2	1,05
5	6	80	1) 0,32 2) 0,31 3) 0,33	0,32	2	1,12
6	7	80	1) 0,31 2) 0,34 4) 0,35	0,32	2	1,78

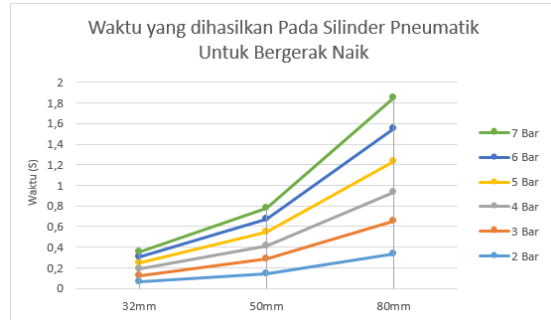


Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa waktu yang dihasilkan tercepat sebesar 0.06 s untuk naik pada pneumatik diameter 32 mm dengan tekanan 6-7 bar sedangkan waktu yang dihasilkan terlamban sebesar 0.32 s untuk naik pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 3, 6, 7 bar. Hal tersebut dikarenakan waktu yang dihasilkan dipengaruhi peparuh debit aliran udara terhadap luas permukaan piston pada pneumatik. Semakin kecil luas permukaan tabung peumatik, maka volume silinder pneumatic yang perlu diisi udara juga semakin kecil sehingga pengisian angin pada

pneumatik lebih cepat. Begitu pula sebaliknya.

• **Hubungan Tekanan dan Waktu Naik**

NO	Tekanan (bar)	Diameter tabung (mm)	Kecepatan pengangkatan (s)	Rata rata kecepatan pengangkatan (s)	Pisau Terangkat
1	2	32	1) 0,06 2) 0,06 3) 0,07	0,063	Ya
2	3	32	1) 0,06 2) 0,07 3) 0,06	0,063	Ya
3	4	32	1) 0,07 2) 0,05 3) 0,06	0,06	Ya
4	5	32	1) 0,06 2) 0,07 3) 0,06	0,063	Ya
5	6	32	1) 0,05 2) 0,06 3) 0,05	0,053	Ya
6	7	32	1) 0,05 2) 0,05 3) 0,05	0,05	Ya



Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa waktu yang dihasilkan tercepat sebesar 0.05 s untuk naik dengan pneumatik diameter 32 mm dengan tekanan 7 bar sedangkan waktu yang dihasilkan terlamban sebesar 0.32 s untuk naik dengan pneumatic diameter 80mm dengan tekanan 2 bar. Hal tersebut dikarenakan waktu yang dihasilkan dipengaruhi pegaruh debit aliran udara terhadap luas permukaan piston pada pneumatic. Semakin kecil luas permukaan tabung peumatik, maka volume silinder pneumatic yang perlu diisi udara juga semakin kecil sehingga pengisian angin pada pneumatik lebih cepat. Begitu pula sebaliknya.

NO	Tekanan (bar)	Diameter tabung (mm)	Kecepatan pengangkatan (s)	Rata rata kecepatan pengangkatan (s)	Pisau Terangkat
1	2	50	1) 0,14 2) 0,15 3) 0,14	0,143	Ya
2	3	50	1) 0,14 2) 0,14 3) 0,13	0,14	Ya
3	4	50	1) 0,13 2) 0,13 3) 0,14	0,13	Ya
4	5	50	1) 0,14 2) 0,13 3) 0,12	0,13	Ya
5	6	50	1) 0,12 2) 0,12 3) 0,13	0,126	Ya
6	7	50	1) 0,12 2) 0,11 3) 0,11	0,113	Ya

• **Hubungan Diameter Tabung dan Kecepatan Naik dan Turun**

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Naik} = Q/A_n$$

.....
.....Persamaan 2.11

Dimana :

- Q = Debit Aliran Udara (m^3/s)
- A = Luas Penampang (m^2)
- t = Waktu (s)

Perhitungan Kecepatan Turun Penumbuk yang dihasilkan

$$Q = \text{Debut Aliran Udara } (m^3/s)$$

$$Q = 102 \text{ liter}/\text{min}$$

$$= \frac{102 \times 10^{-3} m^3}{60s}$$

$$= 1,7 \times 10^{-3} m^3/s$$

A = Luas Penampang (m^2)

- Pada Silinder 32mm = $804,24 \times 10^{-6} m^2$
- Pada Silinder 50mm = $1963,495 \times 10^{-6} m^2$
- Pada Silinder 80mm = $5026,548 \times 10^{-6} m^2$

- a. Kecepatan turun penumbuk yang dihasilkan pada pneumatik diameter 32mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{804,24 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 2,113 m/s$$

- b. Kecepatan turun penumbuk yang dihasilkan pada pneumatik diameter 50mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{1963,495 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 0,865 m/s$$

- c. Kecepatan turun penumbuk yang dihasilkan pada pneumatik diameter 80mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{5026,548 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 0,338 m/s$$

Perhitungan Kecepatan Naik Penumbuk yang dihasilkan

$$Q = \text{Debit Aliran Udara } (m^3/s)$$

$$Q = 102 \text{ liter}/\text{min}$$

$$= \frac{102 \times 10^{-3} m^3}{60s}$$

$$= 1,7 \times 10^{-3} m^3/s$$

A_n = Luas Penampang (m^2)

- Pada Silinder 32mm = $691,143 \times 10^{-6} m^2$
- Pada Silinder 50mm = $1649,336 \times 10^{-6} m^2$
- Pada Silinder 80mm = $4535,675 \times 10^{-6} m^2$

- a. Kecepatan turun yang dihasilkan pada pneumatik diameter 32mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{691,143 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 2,459 m/s$$

- b. Kecepatan turun yang dihasilkan pada pneumatik diameter 50mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{1649,336 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 1,030 m/s$$

- c. Kecepatan turun yang dihasilkan pada pneumatik diameter 80mm

$$V_{Turun} = Q/A$$

$$V_{Turun} = \frac{1,7 \times 10^{-3} m^3/s}{4535,675 \times 10^{-6} m^2}$$

$$V_{Turun} = 0,374 m/s$$



Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa kecepatan naik turun tertinggi sebesar $2,459 m/s$ untuk naik dan $2,113 m/s$ untuk turun dihasilkan oleh pneumatik dengan diameter 32mm sedangkan kecepatan naik turun terendah sebesar $0,374 m/s$ untuk

naik dan 0,338 m/s untuk turun dihasilkan oleh pnuematik dengan diameter 80mm.

Hal tersebut dikarenakan kecepatan yang dihasilkan dipengaruhi pegas debit aliran udara terhadap luas permukaan piston pada pnuematik. Semakin kecil luas permukaan tabung peumatik, maka volume silinder pneumatic yang perlu diisi udara juga semakin kecil. Begitu pula sebaliknya. Pada grafik diatas juga dapat disimpulkan kecepatan naik lebih cepat dari kecepatan turun. Pada panjang *stroke piston* yang sama, volume dipengaruhi oleh luas permukaan. Luas permukaan yang diberikan debit udara ketika naik lebih kecil daripada ketika penumbuk bergerak turun.

• **Hubungan Diameter Tabung dan Momentum**

$$p = m \times v$$

Dimana :

p = Momentum ($kg\ m/s$)

m = Massa (kg) = 3,2kg

v = Kecepatan (m/s)

- Pada Silinder 32 mm = 2,113 m/s
- Pada Silinder 50 mm = 0,865 m/s
- Pada Silinder 80 mm = 0,338 m/s

a. Momentum Yang dihasilkan Ketika Penumbuk Bergerak Turun Pada Silinder 32 mm

$$p = m \times v$$

$$p = 3,2\ kg \times 2,113\ m/s$$

$$p = 6,761\ kg\ m/s$$

b. Momentum Yang dihasilkan Ketika Penumbuk Bergerak Turun Pada Silinder 50 mm

$$p = m \times v$$

$$p = 3,2\ kg \times 0,865\ m/s$$

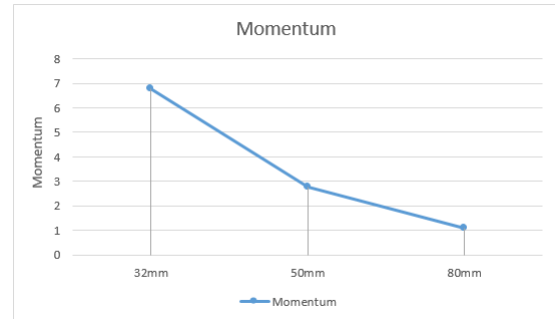
$$p = 2,768\ kg\ m/s$$

c. Momentum Yang dihasilkan Ketika Penumbuk Bergerak Turun Pada Silinder 80 mm

$$p = m \times v$$

$$p = 3,2\ kg \times 0,338\ m/s$$

$$p = 1,081\ kg\ m/s$$



Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa momentum tertinggi sebesar 6,761 kg.m/s untuk turun dihasilkan oleh pneumatik dengan diameter 32mm sedangkan momentum terendah sebesar 1,081 kg.m/s untuk turun dihasilkan oleh pnuematik dengan diameter 80mm.

Hal tersebut dikarenakan momentum yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan turun piston pada pnuematik. Semakin kecil diameter tabung peumatik maka luas permukaan piston silinder pneumatic semakin kecil. Semakin kecil luas permukaan piston berpengaruh terhadap kecepatan turun piston, begitu pula sebaliknya.

• **Hubungan Tekanan dengan Gaya Turun**

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Naik} = P \cdot A_n$$

Sumber : Hidrolik & Pneumatik. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Tirtayasa

Dimana :

F = Gaya (N)

P = Besar tekanan (N/m²)

A= Luas penampang piston turun(m²)

A_n= Luas penampang piston naik (m²)

Perhitungan Gaya yang dihasilkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 32mm Bergerak Turun

$$d = 32\text{mm} = 32 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$r = 16\text{mm} = 16 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot (16 \times 10^{-3}\text{m})^2$$

$$A = 804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2$$

- a. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 2 Bar = $(2 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (3 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 160,848 \text{ N}$$

- b. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 3 Bar = $(3 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (2 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 241,272 \text{ N}$$

- c. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 4 Bar = $(4 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (4 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 321,696 \text{ N}$$

- d. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 5 Bar = $(5 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (5 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 402,12 \text{ N}$$

- e. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 6 Bar = $(6 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (6 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 482,544 \text{ N}$$

- f. Gaya yang dihasilkan diameter 32mm

dengan tekanan 7 Bar = $(7 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (6 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (804,24 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 562,968 \text{ N}$$

Perhitungan Gaya yang dihasilkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 50mm Bergerak Turun

$$d = 50\text{mm} = 50 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$r = 25 \text{ mm} = 25 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot (25 \times 10^{-3}\text{m})^2$$

$$A = 1963,495 \times 10^{-6}\text{m}^2$$

- a. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm

dengan tekanan 2 Bar = $(2 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (2 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 392,699 \text{ N}$$

- b. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm

dengan tekanan 3 Bar = $(3 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (3 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 589,0458 \text{ N}$$

- c. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm

dengan tekanan 4 Bar = $(4 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (4 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6}\text{m}^2)$$

$$F_{Turun} = 785,398 N$$

- d. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm dengan tekanan 5 Bar = $(5 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (5 \times 10^5 N/m^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 981,747 N$$

- e. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm dengan tekanan 6 Bar = $(6 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (6 \times 10^5 N/m^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 1178,097 N$$

- f. Gaya yang dihasilkan diameter 50mm dengan tekanan 7 Bar = $(7 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (7 \times 10^5 N/m^2) \cdot (1963,495 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 1337,446 N$$

Perhitungan Gaya yang dihasilkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 80mm Bergerak Turun

$$d = 80mm = 80 \times 10^{-3} m$$

$$r = 40mm = 40 \times 10^{-3} m$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot (40 \times 10^{-3} m)^2$$

$$A = 5026,55 \times 10^{-6} m^2$$

- a. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 2 Bar = $(2 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (2 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 1005,31 N$$

- b. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 3 Bar = $(3 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (3 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 1507,965 N$$

- c. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 4 Bar = $(4 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (4 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 2010,62 N$$

- d. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 5 Bar = $(5 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (5 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 2531,275 N$$

- e. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 6 Bar = $(6 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (6 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

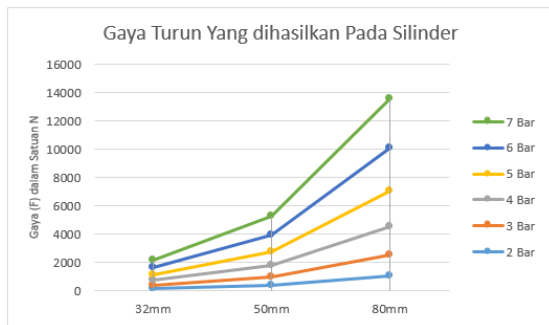
$$F_{Turun} = 3018,93 N$$

- f. Gaya yang dihasilkan diameter 80mm dengan tekanan 7 Bar = $(7 \times 10^5 N/m^2)$

$$F_{Turun} = P \cdot A$$

$$F_{Turun} = (7 \times 10^5 N/m^2) \cdot (5026,55 \times 10^{-6} m^2)$$

$$F_{Turun} = 3518,585 N$$



Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa gaya yang dihasilkan tertinggi sebesar 3518,585 N untuk naik dibutuhkan oleh pneumatik dengan diameter 80mm dengan tekanan 7 bar sedangkan gaya yang dihasilkan terendah sebesar 160,848 N untuk naik dihasilkan oleh pneumatik dengan diameter 32mm dengan tekanan 2 bar.

Hal tersebut dikarenakan debit udara yang di butuhkan dipengaruhi oleh luas permukaan piston dan besar tekanan pada pneumatik. Semakin kecil diameter tabung pneumatik maka semakin kecil luas permukaan. Sehingga gaya yang bekerja pada permukaan piston silinder pneumatic semakin kecil, Begitu pula sebaliknya.

• Hubungan Tekanan dengan Debit Udara Turun

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Naik} = A_n \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

Sumber : Bahan Ajar Pneumatik-Hidrolik: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Dimana:

Q = Debit aliran udara (m^3/s)

S = Langkah torak (m)

P_e = Tekanan (N/m^2)

A = Luas Penampang Turun (m^2)

A_n = Luas Penampang Naik (m^2)

n = Banyaknya langkah ($kali/s$)

P_{atm} = 14,7 psi = 101352,9 N/m^2

Perhitungan Debit yang dibutuhkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 32mm Bergerak Turun

S = Langkah torak (m) = 125 mm = 0.125 m

P_e = Tekanan (N/m^2) = 2,4,6,8 $\times 10^5 N/m^2$

A = Luas Penampang (m^2) = 804,24 $\times 10^{-6} m^2$

n = Banyaknya langkah ($kali/s$) = 1

P_{atm} = 14,7 psi = 101352,9 N/m^2

- a. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 2 bar ($2 \times 10^5 N/m^2$)

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot$$

$$(0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(200000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot$$

$$(0,125 m) \cdot (0,04955)$$

$$Q_{Turun} = 4,981 \times 10^{-6} m^3/s$$

- b. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 3 bar ($3 \times 10^5 N/m^2$)

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot$$

$$(0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(300000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot$$

$$(0,125 m) \cdot (0,06599)$$

$$Q_{Turun} = 6,634 \times 10^{-6} m^3/s$$

- c. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 4 bar ($4 \times 10^5 N/m^2$)

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot$$

$$(0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(400000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,08244)$$

$$Q_{Turun} = 8.288 \times 10^{-6} m^3/s$$

- d. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 5 bar

$$(5 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(500000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,09888)$$

$$Q_{Turun} = 9,932 \times 10^{-6} m^3/s$$

- e. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 6 bar

$$(6 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(600000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,1153)$$

$$Q_{Turun} = 11,594 \times 10^{-6} m^3/s$$

- f. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 32mm dengan tekanan 7 bar

$$(7 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(700000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (804,24 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,1317)$$

$$Q_{Turun} = 13,239 \times 10^{-6} m^3/s$$

Perhitungan Debit yang dibutuhkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 50 mm Bergerak Turun

$$S = \text{Langkah torak (m)} = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$$

$$P_e = \text{Tekanan (N/m}^2) = 2,4,6,8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$A = \text{Luas Penampang (m}^2) = 1963,495 \times 10^{-6} m^2$$

$$n = \text{Banyaknya langkah (kali/s)} = 1$$

$$P_{atm} = 14,7 \text{ psi} = 101352,9 \text{ N/m}^2$$

- a. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 2 bar

$$(2 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(200000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,04955)$$

$$Q_{Turun} = 12,161 \times 10^{-6} m^3/s$$

- b. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 3 bar

$$(3 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(300000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,06599)$$

$$Q_{Turun} = 16,192 \times 10^{-6} m^3/s$$

- c. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 4 bar

$$(4 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(400000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,08244)$$

$$Q_{Turun} = 20,233 \times 10^{-6} m^3/s$$

- d. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 5 bar

$$(5 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(500000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,09888)$$

$$Q_{Turun} = 24,262 \times 10^{-6} m^3/s$$

- e. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 6 bar

$$(6 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(600000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,1153)$$

$$Q_{Turun} = 28,298 \times 10^{-6} m^3/s$$

- f. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 50 mm dengan tekanan 7 bar

$$(7 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(700000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (1963,495 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,1317)$$

$$Q_{Turun} = 32,324 \times 10^{-6} m^3/s$$

Perhitungan Debit yang dibutuhkan Pada Silinder Pneumatik Diameter 80 mm Bergerak Turun

$$S = \text{Langkah torak (m)} = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$$

$$P_e = \text{Tekanan (N/m}^2) = 2,4,6,8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$A = \text{Luas Penampang (m}^2) = 5026,55 \times 10^{-6} m^2$$

$$n = \text{Banyaknya langkah (kali/s)} = 1$$

$$P_{atm} = 14,7 \text{ psi} = 101352,9 \text{ N/m}^2$$

- a. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 2 bar

$$(2 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(200000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,04955)$$

$$Q_{Turun} = 31,133 \times 10^{-6} m^3/s$$

- b. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 3 bar

$$(3 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(300000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,06599)$$

$$Q_{Turun} = 41,462 \times 10^{-6} m^3/s$$

- c. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 4 bar

$$(4 \times 10^5 N/m^2)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(400000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} m^2) \cdot (0,125 m) \cdot (0,08244)$$

$$Q_{Turun} = 51,798 \times 10^{-6} m^3/s$$

d. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 5 bar

$$\left(5 \times 10^5 \text{ N/m}^2\right)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(500000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot (0,9888)$$

$$Q_{Turun} = 62,128 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

e. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 6 bar

$$\left(6 \times 10^5 \text{ N/m}^2\right)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(600000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot (0,1153)$$

$$Q_{Turun} = 72,445 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

f. Debit yang dibutuhkan pada pneumatik diameter 80mm dengan tekanan 7 bar

$$\left(7 \times 10^5 \text{ N/m}^2\right)$$

$$Q_{Turun} = A \cdot S \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{(P_e + P_{atm})}{P_{atm}}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{(700000 + 101352,9)}{101352,9}$$

$$Q_{Turun} = (5026,55 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \cdot (0,125 \text{ m}) \cdot (0,1317)$$

$$Q_{Turun} = 82,749 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$



Berdasarkan pada grafik diatas dapat terlihat bahwa debit udara yang dibutuhkan tertinggi sebesar $82,479 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk turun dibutuhkan oleh pneumatik dengan diameter 80mm dengan tekanan 7 bar sedangkan debit udara yang dibutuhkan terendah sebesar $4,981 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk turun dibutuhkan oleh pnuematik dengan diameter 32mm dengan tekanan 2 bar.

Hal tersebut dikarenakan debit udara yang di butuhkan dipengaruhi oleh luas permukaan piston dan besar tekanan pada pnuematik. Semakin kecil diameter tabung peumatik maka semakin kecil luas permukaan, sehingga gaya yang bekerja pada permukaan piston silinder pneumatic semakin kecil, Begitu pula sebaliknya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari anlisa hasil pengujian, didapatkan kesimpulan dari penelitian Tugas Akhir Sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil diameter silinder pneumatik menghasilkan momentum tumbuk dan semakin besar bukaan katup pengatur tekanan udara menghasilkan gaya tekan yang besar, sehingga mampu momotong busa eva 2mm dengan sempurna.
2. Pada peneitian ini dapat disimpulkan bahwa performa mesin untuk memotong

busa eva 2mm menjadi spons alas sepatu dipengaruhi oleh kecepatan gerak silinder pneumatik, semakin cepat gerakan silinder pneumatik pada berat penumbuk yang sama, semakin besar pula momentum yang dihasilkan. Untuk menghasilkan potongan spons alas spatu yang sempurna diperlukan juga gaya tekan yang besar, semakin besar silinder pneumatik dan bukaan katup pengatur tekanan udara, semakin besar pula gaya tekan yang dihasilkan. Untuk menggerakkan silinder pneumatik dibutuhkan aliran udara yang dimasukkan ke dalam silinder pneumatik, semakin besar silinder pneumatik dan bukaan katup pengatur tekanan udara, semakin besar debit aliran udaran yang di butuhkan untuk menggerakkan silinder pneumatik.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada hasil pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan penambahan debit aliran udara yang lebih besar agar dapat menimbulkan momentum yang lebih besar dan dapat memotong spesimen yang lebih tebal
2. Perlu adanya study lapangan yang lebih spesifik tentang alat yang hendak dimodifikasi agar tidak terjadi kesalahan dalam proses memodifikasi alat yang sudah ada.

REFERENSI

- Adhan Efendi, Aditya Nugraha, & Oyok Yudiyanto(2020). *Buku Pemeliharaan Sistem Pneumatik Dan Hidrolik*. Sleman :Deepublish.`
- Andrew Parr (2010). *Hidrolika dan Pneumatika*. Jakarta : Erlangga.
- Asraf, A., dan Kurniawan, B. (2021). *Fisika Dasar untuk Sains dan Teknik: Jilid 1 Mekanika*. Jakarta: Bumi Aksara. hlm. 250. ISBN 978-602-444-954-4.
- Dr. Miftahu Soleh, M. Sc (2007). *Sistem Kontrol Pneumatik*. Malang:APWI
- Drs. Wirawan MT, Drs. Pramono(2016). *Bahan Ajar Pneumatik-Hidrolik: Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*.
- Harinaldi, Budiarmo. (2016). *Sistem Fluida*. Jakarta : Erlangga
- Ir. Suyatman, Ir. VFX. Kristanto Sugiharto. Ir. Nensi Rosalina. (1985). *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta : Erlangga
- Novri Merlin Triyono (2018). *Komponen Sistem Pneumatik*. Sleman :Deepublish.
- Satria,Dhimas. (2013). *Hidrolik & Pneumatik*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Tirtayasa.
- Thoms Krist & Dines Ginting (2009). *Dasar Dasar Pneumatik*. Jakarta : Erlangga.
- Wirawan Sumbodo, Rizki Setiadi dan Sigit Poedjiono (2017), *Pneumatik & Hidrolik* Sleman: Deepublish.