

PERENCANAAN SISTEM PNEUMATIK SEBAGAI PENGGERAK PADA PINTU GERBONG KERETA

Jones Victor Tuapetel¹, Rohdi Narwalutama²

Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Indonesia^{1,2}
jvictor.tuapetel@iti.ac.id¹, rohdi.ntama@gmail.com²

Submitted August 29, 2021; Revised March 16, 2022; Accepted April 3, 2022

Abstrak

Sistem pneumatik merupakan suatu sistem yang digunakan sebagai sistem otomasi saat ini dengan menggunakan udara sebagai penggerak. Penggunaan sistem pneumatik pada perencanaan ini bertujuan untuk digunakan membuka dan menutup pintu dari gerbong kereta. Untuk mendapatkan rancangan pneumatik sesuai dengan yang diinginkan, maka dibuat suatu perancangan dan simulasi dengan menggunakan *Festo Fluid Simulator*. Hasil dari perencanaan rangkaian sistem pneumatik menghasilkan rangkaian sesuai dengan fungsinya. Berdasarkan dari perhitungan yang dilakukan pada gaya (1170.25 N) dengan kecepatan (0.22 m/s) menghasilkan (5.68 s) untuk membuka pintu dan pada gaya (1562.95 N) dengan kecepatan (0.25 m/s) menghasilkan (4.68 s) untuk menutup pintu. Simulasi pada *Festo Fluid Simulator* dengan penambahan katup *one way valve* (63%) dengan pengaruh pemasangannya untuk menutup pintu menghasilkan kecepatan (0.25 m/s) dan pengaruh pemasangan *one way valve* (61%) untuk membuka menghasilkan kecepatan (0.21 m/s).

Kata kunci: sistem pneumatik, pintu gerbong kereta, *Festo Fluid Simulator*

Abstract

Pneumatic system is a system that is used as an automation system today by using air as its driver. The use of pneumatic systems in this planning aims to be used to open and close the doors of train cars. To get the pneumatic design as desired, a design and simulation is made using Festo Fluid Simulator. The result of the planning of a pneumatic system circuit produces a circuit according to its function. Based on calculations performed on force (1170.25 N) with speed (0.22 m/s) produced (5.68 s) to open the door and at force (1562.95 N) with speed (0.25 m/s) generated (4.68 s) to close the door. Simulation on Festo Fluid Simulator with the addition of one way valve (63%) with its mounting influence to close the door resulted in speed (0.25 m/s) and one way valve installation effect (61%) to open resulting in speed (0.21 m/s).

Keywords: *pneumatic system, train carriage doors, Festo Fluid Simulator*

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan kebutuhan yang sangat vital dalam menunjang aktivitas sehari-hari. Dari sekian banyak jenis transportasi yang ada, transportasi daratlah yang paling sering digunakan sebagai penunjang dalam melakukan aktivitas. Meningkatnya kebutuhan masyarakat akan transportasi terutama pada penggunaan angkutan umum seperti kereta api yang menjadi salah satu pilihan masyarakat. Kereta api dipilih dikarenakan memiliki berbagai keunggulan

diantaranya dari segi kenyamanan dan juga keamanan yang tersedia. Dalam perkembangannya kereta api mengalami berbagai macam perubahan seperti mulai dari kereta uap hingga menjadi kereta listrik.

Perkembangan pada kereta api juga terjadi pada sistem yang terdapat pada kereta api, mulai dari menggunakan sistem yang manual hingga berubah menjadi sebuah sistem yang otomatis. Sistem otomatis yang dipilih untuk diterapkan pada kereta api adalah sistem pneumatik yang digunakan pada bagian dari pintu kereta. Sistem

pneumatik merupakan sebuah sistem yang menggunakan udara bertekanan yang digunakan sebagai media kontrol yang di alirkan ke aktuator pneumatik yang berfungsi untuk membuka, menutup atau yang lainnya, sesuai dengan kebutuhannya [1].

Sebelum sebuah sistem pneumatik memasuki proses manufaktur, keberhasilan dari suatu rancangan sistem penumatik dapat diketahui dengan menggunakan simulasi yang tersedia pada *software Fluid Simulator* [2]. Hal ini bertujuan untuk mengurangi resiko kegagalan yang bisa saja terjadi.

Fluid Simulator merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk menganalisis aliran fluida yang berkaitan dengan distribusi aliran yang terjadi. Hasil dari simulasi dapat digunakan untuk mengetahui distribusi aliran udara yang terjadi pada rangkaian sistem pneumatik dan menghitung kecepatan yang dihasilkan untuk menggerakkan aktuator yang melakukan langkah maju atau mundur. Penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan permasalahan yang pernah terjadi pada pintu kereta adalah permasalahan mulai dari unit kontrol pintu, penggerak pintu, kegagalan mekanis dan lain lain [3].

A. Pintu Kereta

Pintu kereta merupakan salah satu akses utama yang digunakan oleh penumpang untuk memasuki rangkaian gerbong kereta. Pintu pada kereta juga berfungsi untuk menjaga penumpang tetap nyaman selama dalam perjalanan. Pintu kereta dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pintu Kereta

Pintu kereta merupakan salah satu bagian yang penting jika terjadi kegagalan dalam pengoperasiannya dapat menyebabkan peningkatan biaya operasi dan pemeliharaan [4]. Pada umumnya pada masing-masing pintu terdapat pengunci khusus yang hanya bisa digunakan dari dalam tetapi sering terjadi kerusakan yang akhirnya hanya dikunci dengan alat yang seadanya untuk mencegah pembukaan paksa dari luar gerbong kereta. Tetapi pada beberapa kereta sudah menerapkan sistem otomasi yaitu sistem pneumatik yang digunakan untuk menggerakkan pintu kereta.

Sistem pneumatik sangat cocok dirasa sangat cocok sebagai sistem otomasi dengan tugas berulang yang sederhana [1]. Dalam penerapannya yang digunakan sebagai sistem otomasi, pengaruh dari percepatan dan perlambatan saat membuka atau menutup pintu dapat menjadi salah satu masalah yang dapat menimbulkan kerusakan untuk gerak pintu [5].

B. Sistem Pneumatik

Sistem pneumatik merupakan suatu sistem kontrol yang memiliki prinsip kerja yaitu merubah energi yang terdapat pada udara bertekanan menjadi energi yang dapat menghasilkan gerak, yang dapat digunakan untuk menggerakkan suatu benda kerja [6].

Dalam sistem pneumatik terdapat beberapa komponen yang digunakan sebagai penunjang dalam suatu rangkaian sistem pneumatik.

1. Kompresor Udara (*Air Compressor*)
Kompresor merupakan sebuah alat yang digunakan untuk membuat udara bertekanan yang akan digunakan pada sistem pneumatik sebagai tenaga penggerak aktuator. Kompresor udara dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kompresor Udara

Kompresor memiliki persamaan yang digunakan untuk menghitung daya kompresor seperti di bawah ini:

$$N_s = Q_s \times \eta_{total} \quad (1)$$

- N_s = Daya kompresor
- Q_s = Debit udara kompresor
- η_{total} = Efisiensi

2. Regulator *Unit* dan *Gauge*

Regulator *unit* mempunyai fungsi sebagai alat yang digunakan untuk mengatur besarnya tekanan (*pressure*) angin yang akan digunakan sebagai *supply* yang menuju ke rangkaian sistem. *Gauge* sendiri memiliki fungsi sebagai penunjuk dari besarnya udara yang berada di dalam rangkaian. Regulator *Unit* dan *Gauge* dapat dilihat pada Gambar 3.

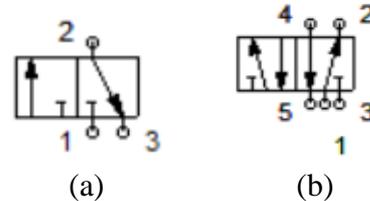


Gambar 3. Regulator *Unit* dan *Gauge*

3. *Directional Way Valve*

Directional Way Valve atau katup pengarah merupakan salah satu komponen yang penting dalam sebuah

instalasi sistem pneumatik. *Directional Way Valve* memiliki beberapa jenis tetapi dalam perancangan ini memakai 3/2 dan 5/2. *Directional Way Valve* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Directional Way Valve*

4. Tanki Akumulator

Tanki akumulator merupakan tempat yang digunakan untuk menyimpan cadangan tekanan udara yang telah terkompresi. Dengan kata lain tanki akumulator memiliki fungsi untuk:

- a. Dapat menstabilkan penggunaan dari udara bertekanan.
- b. Digunakan untuk menghindari *pressure drop* (penurunan tekanan).
- c. Digunakan untuk menyediakan udara bertekanan dalam suatu waktu tertentu.

Tanki akumulator dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tanki Akumulator

5. Saluran Pneumatik

Saluran pipa ini digunakan atau berfungsi sebagai jalur untuk mendistribusikan udara bertekanan yang berada di kompresor menuju penggerak. Pada saluran pneumatik terdapat rugi-rugi yang terjadi diantaranya:

- a. Rugi aliran akibat percabangan 45° & 90°. Pada suatu rangkaian sistem pneumatik terdapat beberapa percabangan dalam salurannya. Percabangan dalam sistem pneumatik memiliki beberapa sudut yaitu 45° dan 90°. Kerugian akibat

percabangan memiliki persamaan sebagai berikut [7]:

$$\Delta p = \frac{\zeta_a \times \rho \times v^2}{2} \quad (2)$$

ΔP = Pressure losses (Pa)

ζ_a = Koefisien rugi dalam percabangan pada 45^0 , 90^0

ρ = Densitas udara ($1,22 \text{ kg/m}^3$)

v = Kecepatan (m/s)

- *Pressure Losses* saluran pneumatik.

Besarnya kerugian tekanan yang terjadi di dalam saluran pipa antara lain bergantung pada:

- Panjang saluran pipa.
- Saluran dalam pipa (diameter dalam pipa).
- Tekanan kerja.

Besarnya kerugian yang terjadi memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\Delta p = \lambda \times \frac{l \times v^2 \times \rho}{2 \times R \times T \times d} \quad (3)$$

ΔP = Pressure losses (Pa)

l = Panjang saluran direncanakan (m)

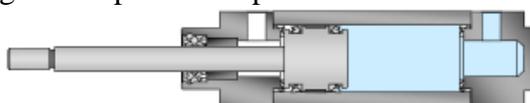
d = Diameter saluran direncanakan (m)

p = Tekanan yang direncanakan (Pa)

v = Kecepatan aliran (m/s)

6. Silinder Kerja Ganda

Silinder kerja ganda merupakan jenis akuator yang paling umum digunakan Pada silinder jenis ini terdapat 2 lubang saluran, pada lubang saluran (1) merupakan masuknya aliran udara bertekanan guna untuk mendorong maju batang silinder sedangkan untuk lubang saluran (2) merupakan masuknya aliran bertekanan guna untuk mendorong mundur kembali batang silinder setelah melakukan langkah maju. Silinder kerja ganda dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Silinder Kerja Ganda

Untuk silinder kerja ganda memiliki dua bagian piston, yaitu bagian diameter piston dan bagian diameter *rod* piston (batang piston). Fungsi dari *rod* piston ini untuk dihubungkan dengan benda yang ingin di gerakan. Diameter *rod* piston memiliki persamaan seperti berikut: [8]

$$d_R = \sqrt{D^2 - \frac{4 \times F_{th}}{\pi \times p}} \quad (4)$$

d_R = diameter rod (mm)

D = diameter piston (mm)

F_{th} = *Theoretical force* at 6 bar

p = tekanan udara (bar)

7. Gaya Piston

Gaya piston yang dihasilkan oleh silinder bergantung pada tekanan udara, diameter silinder dan tahanan gesekan dari komponen rapat. Gaya piston secara teoritis dihitung menurut persamaan berikut [9]:

$$F = A \times p - f_s \quad (5)$$

Untuk melakukan langkah maju:

$$F = D^2 \times \frac{\pi}{4} \times p - f_s \quad (6)$$

Untuk melakukan langkah mundur:

$$F = (D^2 - d_R^2) \times \frac{\pi}{4} \times p - f_s \quad (7)$$

Dimana:

F = Gaya piston (N)

D = Diameter piston (m)

d_R = Diameter batang piston (m)

A = Luas penampang (m^2)

P_c = Tekanan kerja (Pa)

f_s = Gaya gesek

Gaya gesek yang terjadi merupakan gesekan hasil dari gerak pintu yang tertarik mundur atau terdorong maju. Gaya gesek yang terjadi pada pintu memiliki persamaan sebagai berikut.

$$f_s = m \cdot g \cdot \mu_s \cdot \cos\theta \quad (8)$$

Dimana:

f_s = Gaya gesek

m = Massa (kg)

g = Gaya gravitasi (m/s^2)

μ_s = Koefisien gesek

$\cos\theta$ = Sudut permukaan

8. Kebutuhan Udara

Kebutuhan udara dihitung dengan satuan liter/menit (l/min) sesuai dengan standar kapasitas kompresor. Kebutuhan udara silinder merupakan jumlah udara yang dibutuhkan untuk silinder melakukan gerak langkah maju atau mundur. Kebutuhan udara yang dibutuhkan dinyatakan dengan persamaan berikut [10]:

Kebutuhan udara langkah maju

$$Q_1 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times s \times n \times Cr \times 2 \quad (9)$$

Kebutuhan udara langkah mundur

$$Q_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (D^2 - d_R^2) \times s \times n \times Cr \times 2 \quad (10)$$

Dimana:

- Q = Kebutuhan udara silinder untuk langkah maju (l/min)
- D = Diameter piston yang direncanakan (mm)
- d_R = Diameter rod piston (mm)
- s = Panjang langkah (mm)
- n = Jumlah siklus kerja ($n=1$)

Perbandingan kompresi memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C_r = \frac{1,031 + \text{tekanan kerja (bar)}}{1,031} \quad (11)$$

9. Kecepatan Piston

Kecepatan piston rata-rata dari silinder standar berkisar antara 0,1-1,5 m/s. Silinder khusus dapat mencapai kecepatan 10 m/s. Kecepatan silinder pneumatic tergantung:

- Beban (gaya yang melawan silinder).
- Tekanan kerja.
- Diameter dalam dan panjang saluran antara silinder dan katup kontrol arah.
- Ukuran katup kontrol arah yang digunakan.

Kecepatan pada piston dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [11] sebagai berikut:

$$Q = v \times A \quad (12)$$

Dimana:

- Q = Kebutuhan udara (l/min)
- v = Kecepatan gerak piston (m/min)
- A = Luas penampang piston (m^2)

10. Waktu yang Dibutuhkan

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan gerakan menutup dan membuka pintu dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan berikut:

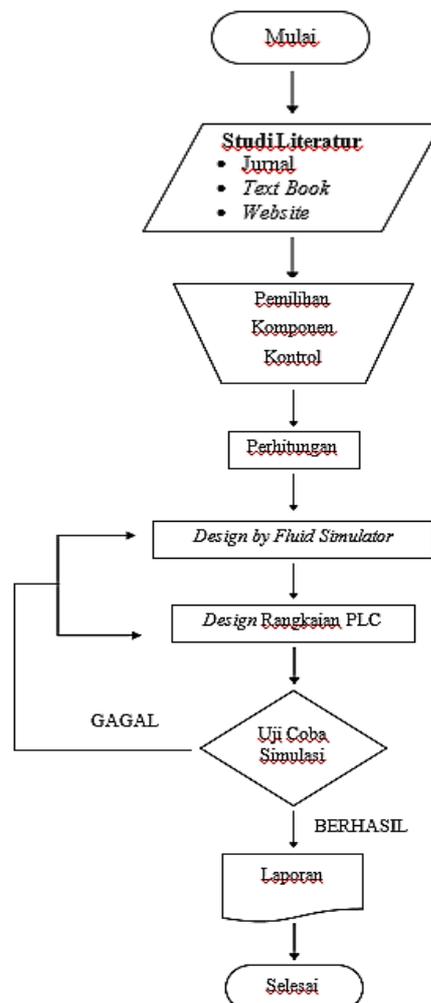
$$v = \frac{s}{t} \quad (13)$$

Dimana :

- v = kecepatan piston (m/min)
- s = langkah piston (m)
- t = waktu yang dibutuhkan (s)

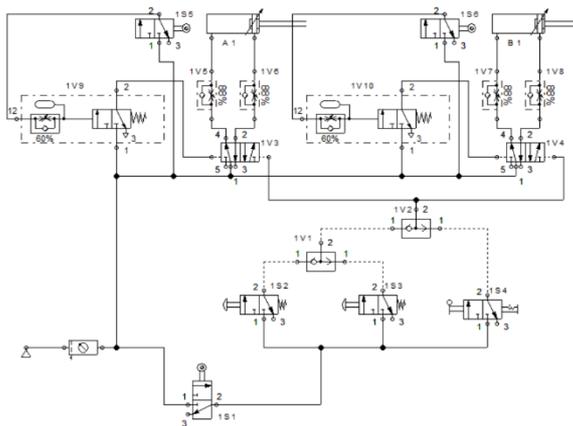
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, dibuatkan diagram alir untuk mempermudah dalam memahami alur proses pengerjaan awal hingga pengerjaan akhir. Diagram alir ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Perancangan

Adapun hasil dari pembutan rancangan sistem pneumatik ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Design Rangkaian Pneumatik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan Gaya Piston

Untuk menentukan gaya yang terjadi pada piston, mula-mula mencari gaya gesek dengan persamaan (8):

$$f_s = m \cdot g \cdot \mu_s \cdot \cos \theta$$

$$f_s = 20 \times 9.8 \times 0.04 \times \cos 0^\circ$$

$$f_s = 7.84 \text{ N}$$

Setelah menentukan gaya gesek yang terjadi selanjutnya adalah menentukan diameter *rod* piston dengan persamaan (4). Dibutuhkan *data sheet Standards-based cylinders* untuk menentukan *Theoretical force at 6 bar* pada piston dengan diameter 50 mm. Tabel *Standards-based cylinders* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Standards-based cylinders

Forces (N) and impact energy (J)							
Piston diameter	32	40	50	63	80	100	125
Theoretical force at 6 bar, advancing	483	754	1170	1870	3016	4712	7363
Theoretical force at 6 bar, retracting	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Max. impact energy in the end positions							
DSBF...	0.4	0.7	1.0	1.3	1.8	2.5	3.3
DSBF...-4(1/1)/13/14	0.2	0.35	0.5	0.65	0.9	1.25	1.65

Setelah mengetahui *Theoretical force at 6 bar* yang terjadi, dapat dilanjutkan untuk mencari diameter *rod* piston dengan persamaan di bawah ini:

$$d_R = \sqrt{D^2 - \frac{4 \times F_{th}}{\pi \times p}}$$

$$d_R = \sqrt{0.05^2 - \frac{4 \times 1178}{\pi \times 800000}} \text{ m}$$

$$d_R = 0.025 \text{ m} \approx 25 \text{ mm}$$

Untuk mengetahui gaya yang terjadi pada saat piston melakukan langkah maju dan mundur dapat menggunakan persamaan (6) dan (7).

- Langkah maju

$$F = D^2 \times \frac{\pi}{4} \times p - f_s$$

$$F = 0.05^2 \times \frac{\pi}{4} \times 8 \times 10^5 - 7.84$$

$$F = 1562.95 \text{ N}$$

- Langkah mundur

$$F = (D^2 - d_R^2) \times \frac{\pi}{4} \times p - f_s$$

$$F = (0.05^2 - 0.025^2) \times \frac{\pi}{4} \times 8 \times 10^5 - 7.84$$

$$F = 1170.25 \text{ N}$$

B. Kebutuhan Udara

Untuk menentukan kebutuhan udara pada piston, mula-mula menentukan perbandingan kompresi dengan persamaan (11):

$$Cr = \frac{1.031 + p}{1.031}$$

$$Cr = \frac{1.031 + 8}{1.031} = 8,759$$

Kebutuhan udara pada piston dapat menggunakan persamaan (9) dan (10):

- Langkah maju

$$Q_1 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times s \times n \times Cr \times 2$$

$$Q_1 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 0.05^2 \times 1.2 \times 1 \times 8.759 \times 2$$

$$Q_1 = 0.0412 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Langkah mundur

$$Q_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (D^2 - d^2) \times s \times n \times Cr \times 2$$

$$Q_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (0.025^2) \times 1.2 \times 1 \times 8.759 \times 2$$

$$Q_2 = 0.0309 \text{ m}^3/\text{min}$$

C. Perhitungan Kecepatan Piston

Untuk menghitung kecepatan piston yang terjadi dapat menggunakan persamaan (12):

- Langkah maju
- $$Q = v \times A$$

$$v_1 = \frac{Q_1}{A}$$

$$v_1 = \frac{0.0412 \text{ m}^3/\text{min}}{\frac{\pi}{4} \times 0.05^2 \text{ m}^2}$$

$$v_1 = 20.9 \text{ m}/\text{min}$$

- Langkah mundur

$$Q = v \times A$$

$$v_2 = \frac{Q_2}{A}$$

$$v_2 = \frac{0.0309 \text{ m}^3/\text{min}}{\frac{\pi}{4} \times (0.05^2 - 0.025^2) \text{ m}^2}$$

$$v_2 = 20.9 \text{ m}/\text{min}$$

Setelah mendapatkan kecepatan yang terjadi pada piston, maka dapat diketahui besarnya kecepatan yang diterima oleh pintu untuk membuka dan menutup yaitu:

- Kecepatan menutup pintu

$$W = \frac{1}{2} \times m \times (v_t^2 - v_0^2) \quad (14)$$

Dimana:

$$W = F \times s$$

$$W = 1562.95 \times 1.2$$

$$W = 1874.4$$

Maka,

$$1874.4 = \frac{1}{2} \times 20 \times (v_t^2 - 20.9^2)$$

$$1874.4 + (20.9^2) = \frac{1}{2} \times 20 \times (v_t^2)$$

$$231.121 = v_t^2$$

$$v_t = 15.202 \text{ m}/\text{min} \approx 0.25 \text{ m}/\text{s}$$

- Kecepatan membuka pintu

$$W = \frac{1}{2} \times m \times (v_t^2 - v_0^2) \quad (15)$$

Dimana:

$$W = F \times s$$

$$W = 1170.25 \times 1.2$$

$$W = 1404.3$$

Maka;

$$1404.3 = \frac{1}{2} \times 20 \times (v_t^2 - 20.9^2)$$

$$1404.3 + (20.9^2) = \frac{1}{2} \times 20 \times (v_t^2)$$

$$184.11 = v_t^2$$

$$v_t = 13.568 \text{ m}/\text{min} \approx 0.22 \text{ m}/\text{s}$$

D. Perhitungan Waktu

Untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan oleh pintu untuk menutup dan membuka dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (13):

- Langkah Maju (menutup pintu)

$$v = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{1.2 \text{ m}}{15.202 \text{ m}/\text{min}}$$

$$t = 0.078 \text{ min}$$

$$t = 4.68 \text{ detik}$$

- Langkah Mundur (membuka pintu)

$$v = \frac{s}{t}$$

$$t = \frac{1.2 \text{ m}}{13.568 \text{ m}/\text{min}}$$

$$t = 0.088 \text{ min}$$

$$t = 5.68 \text{ detik}$$

E. Kerugian Tekanan Pada Saluran

Kerugian yang terjadi pada saluran karena adanya sambungan sudut atau disebabkan karena panjang saluran. Untuk mengetahui kerugian yang terjadi dapat menggunakan persamaan (2) dan (3):

1. Kerugian akibat sudut 45°

$$\Delta p = \frac{\zeta_a \times \rho \times v^2}{2}$$

$$\Delta p = \frac{0.48 \times 1.22 \times 0.384^2}{2}$$

$$\Delta p = 0.04 \text{ N}/\text{m}^2$$

2. Kerugian akibat sudut 90°

$$\Delta p = \frac{\zeta_a \times \rho \times v^2}{2}$$

$$\Delta p = \frac{1.28 \times 1.22 \times 0.384^2}{2}$$

$$\Delta p = 0.11 \text{ N}/\text{m}^2$$

3. Kerugian akibat panjang saluran

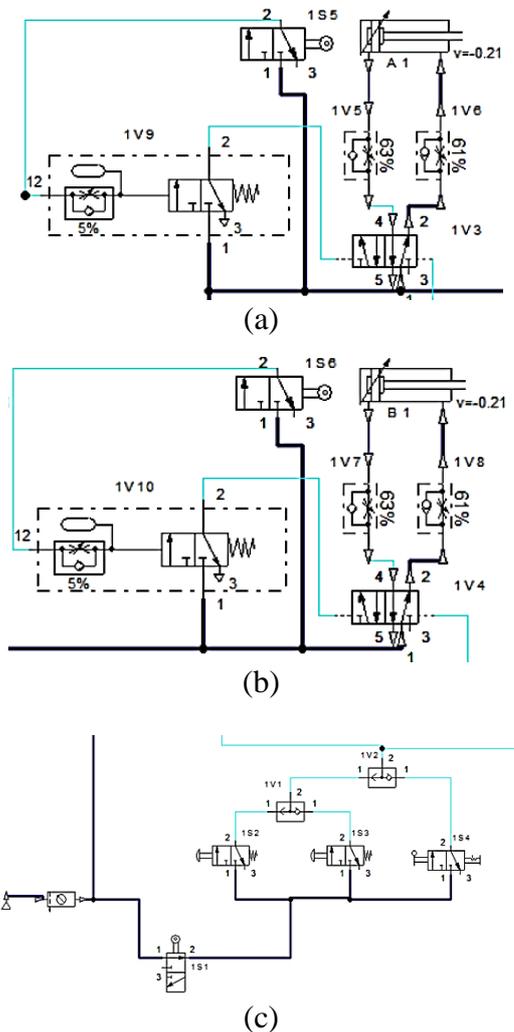
$$\Delta p = \lambda \times \frac{l \times v^2 \times \rho}{2 \times R \times T \times d}$$

$$\Delta p = 0.02 \times \frac{20 \times 20.9^2 \times 8 \times 10^5}{2 \times 283 \times 293 \times 0.05}$$

$$\Delta p = 0.16 \text{ bar}$$

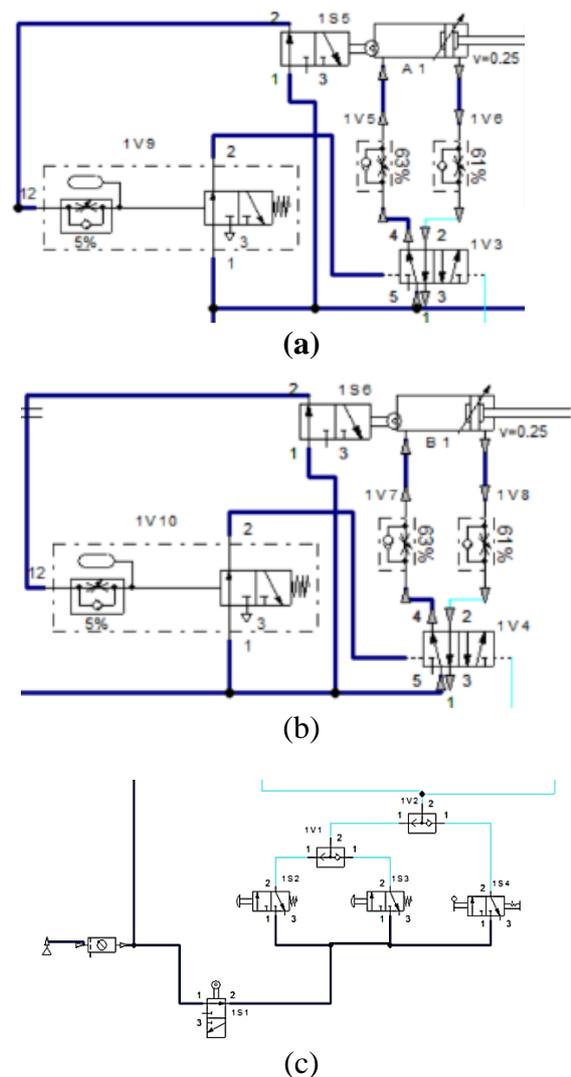
F. Hasil Perancangan Sistem Pneumatik

Hasil dari rancangan sistem pneumatik untuk penggerak pintu kereta dibuat dengan bantuan *software fluid simulator*. Gambar 9 merupakan hasil dari rancangan yang dibuat dengan uji coba laju aliran untuk menggerakkan aktuator melakukan gerak membuka pintu.



Gambar 9. Aktuator Melakukan Langkah Mundur

Hasil uji coba yang dilakukan dengan bantuan *software fluid simulator* untuk simulasi aktuator melakukan langkah maju ditunjukkan pada Gambar 10.



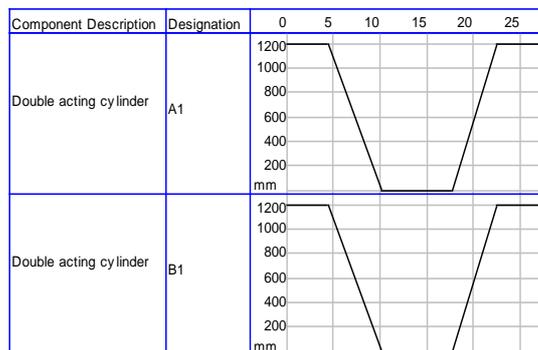
Gambar 10. Aktuator Melakukan Langkah Maju

Prinsip Kerjanya:

Dalam rangkaian ini fungsi dari 1S1 sebagai penghubung untuk menyalurkan udara bertekanan menuju katup 1S2, 1S3 dan 1S4. Fungsi dari 1S2, 1S3 dan 1S4 sebagai pembuka untuk pintu gerbong kereta. Sementara fungsi dari 1S5 dan 1S6 sebagai kontrol untuk mengaktifkan 1V9 dan 1V10. Setelah 1V9 dan 1V10 aktif maka pintu dari gerbong dapat tertutup kembali. Fungsi 1V9 dan 1V10 sebagai tunda waktu untuk menutup pintu. Setelah pintu tertutup dan kereta bersiap – siap untuk jalan dan kondisi dari 1S1 akan berhenti mengalirkan udara bertekanan, karena 1S1 akan aktif ketika

kereta berhenti dan 1S1 tersentuh oleh tuas rem maksimal.

G. Diagram Step Perubahan Langkah Rangkaian langkah elemen kerja ditunjukkan dengan diagram pada Gambar 11. Semua perubahan posisi elemen kerja dari langkah awal hingga akhir direkamnya. Seandainya kontrol yang ada itu mempunyai elemen kerja lebih dari satu, maka semua kegiatan langkah kerja dari semua elemen kerja ditunjukkan atau digambarkan dengan cara yang satu ada dibawah yang lainnya, dimana hubungan elemen kerja satu dengan yang lainnya diperlihatkan pada setiap perubahan langkah kerja.



Gambar 11. Diagram Step

Pemilihan terhadap komponen yang digunakan dalam *design* rangkaian pneumatik ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Pneumatik

Komponen	Jumlah
Double Acting Cylinder	2 buah
3/n Way Valve	6 buah
Shuttle valve	2 buah
5/n Way Valve	2 buah
One way flow control valve	4 buah
Time Delay Valve	2 buah

4. SIMPULAN

Dari hasil analisa perencanaan sistem pneumatik pada pintu gerbong kereta, maka dapat disimpulkan:

1. Hasil dari rancangan sistem pneumatik pada *software Festo Fluid Simulator* dapat dikatakan berfungsi dengan baik untuk menggerakkan

pintu dalam melakukan langkah membuka dan menutup dengan menghasilkan nilai kecepatan pada *software* yang tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan yaitu (0,21 m/s) untuk langkah mundur dan (0,25 m/s) untuk langkah maju.

2. Perhitungan yang dilakukan pada rangkaian sistem pneumatik ini menghasilkan:
 - a. Gaya yang digunakan untuk melakukan langkah maju (1562,95 N) dan untuk langkah mundur (1170,25 N).
 - b. Kebutuhan udara yang dibutuhkan piston untuk melakukan langkah maju (0,0412 m³/min) dan untuk langkah mundur (0,0309 m²/min).
 - c. Kecepatan yang terjadi pada saat pintu melakukan langkah maju (0,25 m/s) dan untuk langkah mundur (0,22 m/s),
 - d. Waktu yang terjadi pada kondisi pintu melakukan langkah maju (4,68 detik) dan waktu yang dibutuhkan untuk pintu melakukan langkah mundur (5,68 detik).
 - e. Dengan mempertimbangkan kerugian aliran yang terjadi sebesar 0,16 bar, sedangkan kerugian yang diizinkan dalam saluran sebesar 0,1 bar – 0,2 bar. Maka dapat dinyatakan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. A. Bora, K. S. Rajput and e. al, "A Review on Pneumatic Operated Train Door System," pp. 472-477, 2019.
- [2] F. I. Anditha, T. Kabul, and W. Ym, "Perancangan dan Simulasi Elektro Pneumatik Holder Machinism Pada Sheet Metal Shearing Machine," *Profisiensi*, vol. 5, no. 1, pp. 51–60, 2017.
- [3] F. Dinmohammadi, B. Alkali, M. Shafiee, C. Bérenguer, and A. Labib, "Risk Evaluation of Railway Rolling Stock Failures Using FMECA Technique: A Case Study of Passenger Door System," *Urban Rail Transit*, vol.

- 2, no. 3–4, pp. 128–145, 2016, doi: 10.1007/s40864-016-0043-z.
- [4] S. Ham, S. Y. Han, S. Kim, H. J. Park, K. J. Park, and J. H. Choi, “A comparative study of fault diagnosis for train door system: Traditional versus deep learning approaches,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 23, 2019, doi: 10.3390/s19235160.
- [5] S. Kim, N. H. Kim, and J. H. Choi, “Information value-based fault diagnosis of train door system under multiple operating conditions,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 14, pp. 1–14, 2020, doi: 10.3390/s20143952.
- [6] Sumbodo, W., Setiadi, R., & Poedjiono, S. (2017). *Pneumatik dan Hidrolik. Teknik Industri (1)*
- [7] Krist, Thomas, “Fundamentele Pneumatiek,” in *Dasar-dasar Pneumatik*, jakarta, Erlangga, pp. 1-210, 1993.
- [8] Croser, P., Ebel, F., & Level, B. (n.d.). *Pneumatics*
- [9] Sudaryono, “Pneumatik dan Hidrolik,” *Tek. Mekatronika*, no. 1, pp. 13–14, 2013.
- [10] R. K. Akbar, “Dasar Pneumatik Modul Pembelajaran Teknik Mekatronika,” p. 100, 2017.