

Perancangan Sistem Jalur Perpipaan Distribusi Suplai Udara Sistem Pneumatik Di Stasiun Pengumpul Tapen

Zufa Virgianadi Putra^{1*}, Gusma Hamdana Putra², Mohamad Hakam³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*, 2}

Program studi D-IV Teknologi Rekayasa Energi Berkelanjutan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: zufavirgian@gmail.com^{1*}, hamdana.putra@ppns.ac.id², m_hakam@ppns.ac.id³

Abstract - This research presents the design of a pressurized air piping system for pneumatic valves and indicator control in the metering and separator units at Gathering Station Tapen. The system is intended to distribute compressed air required by pneumatic actuators to operate valves via air inlet ports, controlled by signals from a Programmable Logic Controller (PLC). The design uses Carbon Steel A106 Gr B galvanized pipes and stainless steel 304L tubing, referencing ASME B31.3 and CAGI standards. Air capacity requirements for each component were calculated to determine the total system demand, while pressure drop calculations were performed both manually using the Darcy-Weisbach equation and via fluid flow simulation software. Results show a total air demand of 2,911 liters/minute for 19 components, with a total pressure drop of 0.4381 bar, which is within safe limits (below 10% of the compressor's 10 bar output). The simulation yielded a pressure drop of 0.4375 bar, with only a 0.13% error compared to manual calculations. These findings confirm that the design is safe and efficient for operational needs.

Keywords: Pressurized air, Pressure drop, Piping design.

Nomenclature

Δp	= Pressure Drop
Q	= Kebutuhan Debit Udara
f	= friction factor
ϵ	= Harga kekasaran material Pipa
V	= Kecepatan fluida
ρ	= Massa jenis udara

1. PENDAHULUAN

Perusahaan kontraktor yang bergerak dalam bidang *Engineering, Procurement, and Contruction* (EPC) sedang melakukan tahapan merancang desain sistem perpipaan udara bertekanan di area Stasiun Pengumpul Tapen. Sistem ini berfungsi untuk mendistribusikan udara bertekanan yang dibutuhkan aktuator pneumatik untuk mengaktifkan valve melalui air inlet port. Aktuator ini bekerja ketika menerima sinyal kontrol dari *Programmable Logic Control* (PLC) yang kemudian diubah menjadi gerakan mekanis yang diteruskan ke dalam *valve*.

Perancangan desain sistem perpipaan udara bertekanan pada Stasiun Pengumpul Tapen ini sebagai sistem pendukung yang akan terhubung pada fasilitas *metering system* dan 3 unit tangki separator. Tujuan membuat desain jalur perpipaan dengan fluida udara bertekanan sebagai energi yang mendorong silinder aktuator dengan tekanan sebesar 110 psig yang terhubung dengan *control valve, shutdown valve* dan *indicator control*.

Desain jalur perpipaan udara melibatkan penggunaan *software* pemodelan 3D dan *software* aliran fluida dengan mengacu pada standar ASME B31.3. *Process Piping* [1] dan CAGI (*Compressed Air & Gas Institute*) [2] dengan cakupan perhitungan kebutuhan udara yang diperlukan dan *pressure drop* total sistem perpipaan.

2. METODOLOGI .

2.1 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini desain jalur sistem perpipaan udara menggunakan material *Carbon Steel A106 Gr B* jenis *galvanized* dan pipa tubing material *stainless steel 304L* yang akan terhubung langsung dengan komponen yang di suplai. Perhitungan nilai kapasitas udara untuk setiap komponen dilakukan untuk mengetahui nilai total kapasitas sistem perpipaan udara yang diperlukan. Nilai *pressure drop* didapatkan dengan kalkulasi manual dari persamaan Darcy-Weisbach [3] dan kalkulasi menggunakan *software* aliran fluida yang kemudian hasil dari kedua kalkulasi tersebut dilakukan perbandingan presentase *error*.

2.2 Formula Matematika

2.2.1 Kapasitas Udara Setiap Komponen

Perhitungan kapasitas komponen dilakukan dengan dua formula yang berbeda, dikarenakan perbedaan jenis sistem pneumatik yang digunakan, yaitu Silinder aktuator pneumatik dengan persamaan (1) dan Pneumatik diafragma menggunakan persamaan (2).

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{L}{t} \cdot \frac{P+0,1013}{0,01013} \cdot 10^{-6} \cdot 60 \quad (1)$$

Dimana,

Q = Kebutuhan udara silinder (liter/menit)

D = Diameter silinder (mm)

L = Panjang langkah piston (mm)

t = Waktu satu langkah (s)

P = Tekanan kerja (Mpa)

$$Q = V \cdot P \cdot N \cdot 1000 \quad (2)$$

Dimana,

V = Volume diafragma

P = Tekanan kerja (Bar)

N =Jumlah 1 siklus setiap menit

Pada *indicator control* suplai udara yang dibutuhkan sebesar 3,03 liter/menit, didapatkan dari spesifikasi komponen tersebut.

2.2.2 Pressure Drop

Perhitungan *pressure drop* terbagi menjadi dua yaitu *pressure drop mayor* akibat dinding pipa ditunjukkan pada persamaan (3), untuk menentukan nilai *friction factor* dapat dicari menggunakan persamaan (4) dari Henri Liu [4] dan *pressure drop minor* akibat fitting dan perubahan diameter pipa ditunjukkan pada persamaan (5).

$$\Delta p = f \rho \frac{L V^2}{D} \quad (3)$$

Dimana,

Δp = Kehilangan tekanan mayor (Pa)

f = *Friction factor*

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan fluida (m/s)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,782 \ln \left[\left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad (4)$$

Dimana,

f = *Friction factor*

Re = Reynold Number

D = Inside Diameter (m)

ε = Harga kekasaran material Pipa (m)

$$\Delta p = K \rho \frac{V^2}{2} \quad (5)$$

Dimana,

Δp = Kehilangan tekanan minor (Pa)

K = Koefisien hambatan

V = Kecepatan fluida (m/s)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Kapasitas Udara Setiap Komponen

Perhitungan kapasitas udara dihitung dari volume ruang yang akan diisi udara bertekanan untuk menggerakkan *valve* dan *indicator*. Hasil dari perhitungan komponen yang di suplai setiap area ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 1 Kebutuhan Udara Tekan

Area	Supply	Liter/menit	m ³ /s
Metering System	PCV	404	0,0067
	SDV		
MP Separator West Area	LCV	573	0,0096
	SDV		
	LIC		
MP Separator East Area	PCV	403	0,0067
	SDV		
LP Separator North Area	LIC	407	0,0096
	LCV		
	SDV		
LP Separator East Area	PCV	403	0,0067
	SDV		
Test Separator West Area	PIC	240	0,0040
	PCV		
Test Separator East Area	LIC	480	0,0080
	LCV		
Total		2911	0,0486

Pada Tabel 1 diatas menunjukkan total kebutuhan udara pada sistem sebesar 2911 liter/menit atau 0,48 m³/s dengan jumlah komponen yang disuplai sebanyak 19 buah.

3.2 Pressure Drop

3.2.1 Pressure Drop Mayor

Perhitungan *pressure drop mayor* dilakukan untuk mengetahui nilai kerugian yang disebabkan gesekan fluida pada dinding pipa. Hasil dari perhitungan *pressure drop mayor* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Hasil perhitungan *pressure drop mayor*

Line	Panjang Pipa (m)	Pressure Drop Mayor (Pa)
AI-1101-A013-2"	135,55	24167,25
AI-1102-A013-1"	7	1024,27
AI-1103-A013-1"	12,4	3638,62
AI-1104-A013-1"	7,5	1030,42
AI-1105-A013-1"	2,5	317,17
AI-1106-A013-1"	16,7	2060,14
AI-1107-A013-1"	9,5	624,49
AI-1108-A013-1"	8,5	802,24
Connector Pipe ToTubing	1,9	300,17
Tubing To Supply	25,5	2648,76
Total		36613,57

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan nilai *pressure drop mayor* pada sistem sebesar 36613,57 Pa atau 0,36 bar.

3.2.2 Pressure Drop Minor

Perhitungan pressure drop minor menggunakan nilai K factor dari setiap jenis dan ukuran fitting. Hasil perhitungan pressure drop minor dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Hasil perhitungan *pressure drop minor*

Line	K factor	Pressure Drop Minor (Pa)
AI-1101-A013-2"	7,9	2142,72
AI-1102-A013-1"	1,84	186,85
AI-1103-A013-1"	3,22	646,95
AI-1104-A013-1"	2,3	250,42
AI-1105-A013-1"	2,76	260,60
AI-1106-A013-1"	2,99	251,59
AI-1107-A013-1"	2,3	103,90
AI-1108-A013-1"	3,22	375,13
Connector Pipe To Tubing	30,02	2188,15
Tubing To Supply	11,4	787,04
Total		7193,40

Berdasar hasil perhitungan pada Tabel 3 didapatkan nilai total *pressure drop minor* sebesar 7193,40 Pa atau 0,71 bar.

Setelah diketahui nilai *pressure drop mayor* dan nilai *pressure drop minor* pada sistem perpipaan, maka dapat dihitung *pressure drop total* sebesar 43805,4299 Pa atau senilai 0,4381 Bar. Sehingga hasil nilai total *pressure drop* sistem dengan kalkulasi manual sebesar 0,4381 Bar, nilai tersebut tidak melebihi 10% dari *output* kompresor 10 Bar yaitu 1bar. Dapat disimpulkan bahwa desain dikatakan aman.

3.3 Hasil Simulasi Software

Simulasi sistem perpipaan udara tekan menggunakan *software* aliran fluida dengan memodelkan dan analisis aliran udara dalam pipa secara efisiensi. Pemodelan dan hasil dari analisa *software pipe flow expert* ditemukan *pressure drop total* sebesar 0,4367 Bar. Presentase perbedaan nilai *pressure drop* kalkulasi manual dengan analisis *software* dapat dilihat pada Tabel 4.

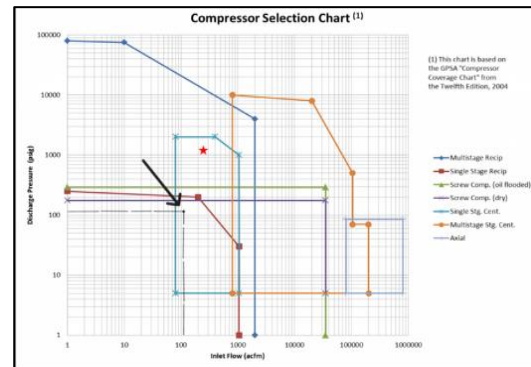
Tabel 4 Presentase perbedaan nilai *pressure drop total*

Deskripsi	Nilai	Satuan
Kalkulasi manual	0,4381	bar
Kalkulasi <i>software</i>	0,4367	bar
% Error	0,31	%

3.4 Klasifikasi Kompresor

Klasifikasi kompresor menggunakan diagram dari *Gas Processing Handbook* [5] berdasarkan kebutuhan sistem perpipaan dan tekanan keluar dari kompresor. Dengan nilai tekanan sistem

sebesar 131 psi dan *flowrate* 113 CFM maka kompresor *existing* sudah cukup memenuhi desain sistem perpipaan.



Gambar 1 Diagram Klasifikasi Kompresor

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Perhitungan total kebutuhan udara tekan pada sistem sebesar 0,0486 m³/s.
- Hasil nilai *pressure drop total* dengan perhitungan manual diperoleh sebesar 0,4381 Bar, sedangkan hasil analisa *software* mendapatkan nilai sebesar 0,4367 Bar dengan nilai presentase *error* 0,31%.
- Jenis kompresor *existing* sudah sesuai dengan desain sistem perpipaan berdasarkan diagram *compressor selection chart*.

5. PUSTAKA

- [1] ASME B31.3-Process Piping (2020) ASME B31.3-2014, Process Piping, ASME Code for Process Piping, *Chemical Engineer*, 76(8), hal. 95–108.
- [2] Hidayat, K. (2011) Compressed air distribution systems, *Asian Textile Journal*, 20(8), hal. 51–52.
- [3] Munson, B.R. et al. (2013) *Fundamentals of Fluid Mechanics Seventh Edition, Instrumentation, Measurements, and Experiments in Fluids*.
- [4] Liu, H. (2003) Liu, H. (2003). *Pipeline Engineering* (1st ed., Vol. 1). CRC Press LLC.
- [5] Wall, J.D. (1975) *Gas Processing Handbook., Hydrocarbon Processing*, 54(4).