



Pengaruh Panjang Jalur Perpipaan dan Jumlah Fitting terhadap Pressure Drop pada Sistem Rumah Gas Multi-Lini di Laboratorium PT. X

Erixzen Shena Putra Eswono¹, Lisa Puspita Ariyanto², Dedy Rachman Ardian³

¹²³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gresik

Jl. Arif Rahman Hakim Gresik No.2B 0821-8458-0449, Kramatandap, Gapurosukolilo,
Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61111

Email : erixshe@gmail.com

Abstract

A gas manifold system is an essential infrastructure in industrial laboratories that distributes gas from storage cylinders to multiple points of use through a piping network. System performance is strongly influenced by pipeline length and the number of fittings, both of which contribute to energy losses during fluid flow and result in pressure drop. Excessive pressure loss may reduce gas supply stability, affect laboratory equipment performance, and decrease distribution efficiency. This study aims to analyze the effects of pipeline length and the number of fittings on pressure drop in a multi-line gas manifold system at PT. X Laboratory, both partially and simultaneously, and to identify the most influential variable. This research employed a quantitative approach using an explanatory observational method. Primary data were collected through field observations and direct measurements using pressure gauges, measuring instruments, observation sheets, and technical documentation. The independent variables were pipeline length (X_1) and the number of fittings (X_2), while the dependent variable was pressure drop (Y). Data were analyzed using descriptive statistics, classical assumption tests, multiple linear regression, t-tests, F-tests, and the coefficient of determination with the assistance of SPSS Statistics software. The theoretical framework was based on fluid mechanics principles, including the continuity equation, Bernoulli equation, Darcy–Weisbach equation, and the concepts of major and minor losses. The findings are expected to provide a scientific basis for evaluating piping network configurations, optimizing gas distribution systems, minimizing pressure losses, and improving the reliability and operational efficiency of multi-line gas manifold systems.

Keywords: Gas Manifold System; Pipeline Length; Fittings; Pressure Drop; Fluid Mechanics.

Abstrak

Sistem rumah gas (*gas manifold system*) merupakan infrastruktur penting dalam laboratorium industri yang berfungsi mendistribusikan gas dari tabung penyimpanan menuju berbagai titik pemakaian melalui jaringan perpipaan. Kinerja sistem dipengaruhi oleh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* yang menyebabkan kehilangan energi selama aliran sehingga menimbulkan *pressure drop*. Penurunan tekanan yang berlebihan dapat mengurangi stabilitas suplai gas, memengaruhi kinerja peralatan laboratorium, serta menurunkan efisiensi distribusi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X, baik secara parsial maupun simultan, serta mengidentifikasi variabel yang paling dominan memengaruhi *pressure drop*. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode observasional eksplanatori. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan pengukuran langsung menggunakan *pressure gauge*, alat ukur panjang, lembar observasi, dan dokumentasi teknis. Variabel independen meliputi panjang jalur perpipaan (X_1) dan jumlah *fitting* (X_2), sedangkan variabel dependen adalah *pressure drop* (Y). Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji asumsi klasik, analisis regresi linier berganda, uji *t*, uji *F*, dan koefisien determinasi dengan bantuan perangkat lunak SPSS Statistics. Penelitian ini didasarkan pada teori mekanika fluida, meliputi persamaan kontinuitas, persamaan Bernoulli, persamaan Darcy–Weisbach, serta konsep *major losses* dan *minor losses*. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar dalam mengevaluasi konfigurasi jaringan perpipaan, mengoptimalkan sistem distribusi gas, meminimalkan kehilangan tekanan, serta meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional sistem rumah gas multi-lini.

Kata kunci: *pressure drop*, sistem rumah gas multi-lini, panjang jalur perpipaan, *fitting*, mekanika fluida.

1. Pendahuluan

Perkembangan industri dan laboratorium modern meningkatkan kebutuhan akan sistem distribusi gas yang aman, andal, dan efisien. Sistem rumah gas (*gas manifold system*) digunakan untuk mendistribusikan gas industri, khususnya nitrogen, dari tabung penyimpanan menuju berbagai titik pemakaian melalui jaringan perpipaan. Kinerja sistem ini sangat dipengaruhi oleh kestabilan tekanan gas karena *pressure drop* yang berlebihan dapat mengurangi performa instrumen laboratorium, menurunkan efisiensi distribusi, serta meningkatkan risiko gangguan operasional. Besarnya *pressure drop* dipengaruhi oleh karakteristik jaringan perpipaan, terutama panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* yang menyebabkan *major losses* dan *minor losses*. [1,2] Salah satu parameter penting dalam sistem distribusi gas adalah *pressure drop* atau penurunan tekanan yang terjadi sepanjang jalur perpipaan. *Pressure drop* merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari karena adanya gesekan antara fluida dengan dinding pipa serta kehilangan energi akibat komponen seperti elbow, tee, valve, reducer, dan *fitting* lainnya. Besarnya *pressure drop* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain panjang jalur perpipaan, diameter pipa, kekasaran permukaan pipa, debit aliran, sifat fisik gas, serta jumlah dan jenis *fitting* yang digunakan. [3,4] Dalam sistem distribusi gas laboratorium, *pressure drop* yang terlalu besar dapat menyebabkan tekanan gas pada titik pemakaian menjadi lebih rendah daripada tekanan yang dipersyaratkan oleh peralatan. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan performa instrumen laboratorium, mengganggu kestabilan proses analisis, meningkatkan waktu pengujian, bahkan menyebabkan kegagalan operasi pada peralatan yang membutuhkan tekanan gas tertentu. Sebaliknya, *pressure drop* yang terkendali akan menghasilkan distribusi tekanan yang lebih seragam sehingga efisiensi sistem distribusi gas dapat dipertahankan. [5,6] Fenomena *pressure drop* menjadi semakin penting ketika sistem rumah gas melayani banyak titik pemakaian melalui konfigurasi multi-lini. Pada sistem seperti ini, setiap jalur perpipaan memiliki panjang dan jumlah *fitting* yang berbeda sehingga kehilangan tekanan pada masing-masing jalur juga berbeda. Perbedaan tersebut menyebabkan tekanan gas yang diterima setiap outlet tidak selalu sama, meskipun tekanan keluaran dari regulator tetap konstan. Apabila tidak diketahui besarnya pengaruh karakteristik perpipaan terhadap *pressure*

drop, maka penataan sistem distribusi gas berpotensi menjadi kurang optimal. [5]

Laboratorium PT. X memiliki sistem rumah gas multi-lini dengan konfigurasi jalur perpipaan dan jumlah *fitting* yang berbeda pada setiap cabang distribusi. Perbedaan tersebut diduga menyebabkan variasi *pressure drop* pada masing-masing jalur. Namun, hingga saat ini belum tersedia data empiris yang menunjukkan besarnya pengaruh kedua variabel tersebut terhadap *pressure drop*. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak dilakukan pada sistem perpipaan industri berskala besar atau menggunakan pendekatan simulasi, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi operasional sistem rumah gas laboratorium. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan pendekatan kuantitatif dan analisis regresi linier berganda. Rumusan masalah dalam penelitian ini Adalah.

1. Bagaimana pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* secara simultan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X; dan
2. Variabel manakah yang memberikan pengaruh paling dominan terhadap *pressure drop*, apakah panjang jalur perpipaan atau jumlah *fitting*. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam evaluasi dan optimalisasi sistem distribusi gas sehingga mampu meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kestabilan tekanan pada setiap titik pemakaian.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode observasional eksplanatori untuk menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X. Penelitian dilaksanakan pada sistem distribusi gas nitrogen yang beroperasi secara normal tanpa melakukan modifikasi terhadap instalasi, sehingga data yang diperoleh mencerminkan kondisi operasional aktual. Variabel independen penelitian meliputi panjang jalur perpipaan (X_1) dan jumlah *fitting* (X_2), sedangkan variabel dependen adalah *pressure drop* (Y), yaitu selisih tekanan antara sisi keluaran manifold dan titik pemakaian.

2.1. Proses Pengambilan dan Analisis Data

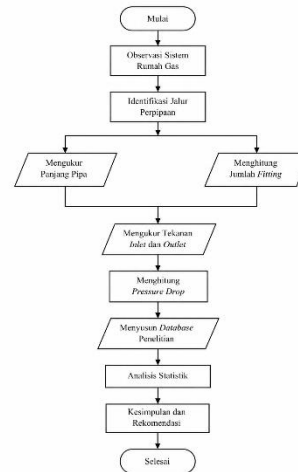
Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data observasi langsung (*direct observation*) yang

dipadukan dengan pengukuran teknis dan dokumentasi. Metode tersebut dipilih karena penelitian bertujuan memperoleh data kuantitatif mengenai karakteristik sistem rumah gas multi-lini yang sedang beroperasi tanpa memberikan perlakuan atau perubahan terhadap sistem. Dengan demikian, data yang diperoleh mencerminkan kondisi operasional aktual sehingga hasil penelitian lebih representatif terhadap kondisi di lapangan. Pendekatan observasional dipilih karena seluruh variabel penelitian dapat diukur secara langsung menggunakan instrumen teknis. Variabel panjang jalur perpipaan diukur menggunakan alat ukur panjang, jumlah *fitting* diperoleh melalui identifikasi dan pencatatan komponen perpipaan pada setiap jalur distribusi, sedangkan *pressure drop* diperoleh melalui pengukuran tekanan pada sisi masuk (*inlet pressure*) dan sisi keluar (*outlet pressure*) menggunakan *pressure gauge* atau manometer. Metode ini sesuai dengan karakteristik penelitian kuantitatif yang menekankan pengumpulan data numerik untuk dianalisis secara statistik.

Analisis data diawali dengan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik data, kemudian dilanjutkan dengan uji asumsi klasik sebagai syarat analisis regresi. Pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* dianalisis menggunakan regresi linier berganda, sedangkan pengujian hipotesis dilakukan melalui uji t untuk mengetahui pengaruh parsial masing-masing variabel dan uji F untuk menguji pengaruh keduanya secara simultan. Besarnya kemampuan model dalam menjelaskan variasi *pressure drop* dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2), sedangkan variabel yang paling dominan ditentukan berdasarkan hasil koefisien regresi dan signifikansinya. Hasil analisis selanjutnya diinterpretasikan sebagai dasar penyusunan kesimpulan dan rekomendasi teknis guna meningkatkan efisiensi serta keandalan sistem distribusi gas di Laboratorium PT. X.

Hasil analisis statistik kemudian diinterpretasikan dengan menghubungkan temuan empiris terhadap teori mekanika fluida, persamaan Darcy–Weisbach, konsep *major losses*, dan *minor losses*. Pembahasan dilakukan untuk menjelaskan apakah hasil penelitian mendukung teori yang digunakan dan sejalan atau berbeda dengan penelitian terdahulu.

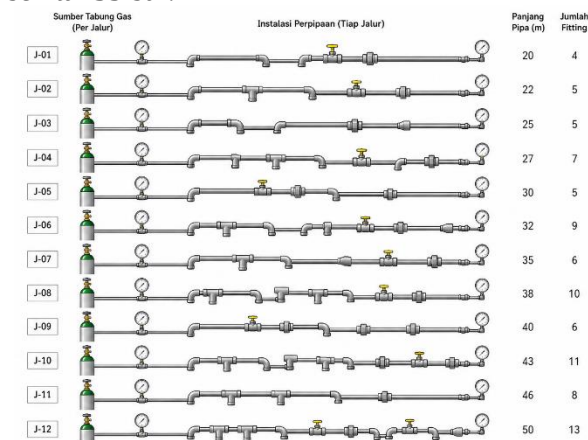
2.2. Flowchart



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Objek penelitian adalah 12 jalur instalasi perpipaan gas nitrogen dengan panjang pipa yang berbeda-beda serta jumlah maupun tipe fitting yang berbeda. Tekanan tabung nitrogen pada kisaran 150–200 bar sesuai dengan ketentuan dari supplier tabung Gas yang dipilih, kemudian diturunkan menggunakan regulator menjadi tekanan kerja sekitar 35 bar.



Gambar 2. Ilustrasi Instalasi Pipa Rumah Gas Untuk mendapatkan data agar variabel bisa signifikan, dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali.

3.1. Data Pengukuran

Tabel 1. Pengukuran Tekanan Rata-rata

Jalur	Panjang Pipa (m)	Jenis Fitting	Jumlah Fitting	P1 Rata-rata (bar)	P2 Rata-rata (bar)	ΔP Rata-rata (bar)
J-01	20	2 elbow, 1 valve, 1 union	4	35,10	34,70	0,40
J-02	22	3 elbow, 1 tee, 1 valve	5	35,20	34,68	0,52
J-03	25	2 elbow, 2 valve,	5	35,00	34,43	0,57

Jalur	Panjang Pipa (m)	Jenis Fitting	Jumlah Fitting	P1 Rata-rata (bar)	P2 Rata-rata (bar)	ΔP Rata-rata (bar)
J-04	27	1 reducer 4 elbow, 1 tee, 2 valve	7	35,3 0	34,52	0,78
J-05	30	3 elbow, 1 valve, 1 union	5	35,2 0	34,50	0,70
J-06	32	5 elbow, 2 tee, 2 valve	9	35,4 0	34,32	1,08
J-07	35	3 elbow, 2 valve, 1 reducer	6	35,1 0	34,27	0,83
J-08	38	6 elbow, 2 tee, 2 valve	10	35,3 0	34,02	1,28
J-09	40	4 elbow, 1 valve, 1 union	6	35,0 0	34,05	0,95
J-10	43	7 elbow, 2 tee, 2 valve	11	35,5 0	34,08	1,42
J-11	46	5 elbow, 2 valve, 1 reducer	8	35,2 0	33,98	1,22
J-12	50	8 elbow, 2 tee, 3 valve	13	35,4 0	33,72	1,68

Lalu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai ΔP (bar) dari perhitungan dari rumusan berikut.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (1)$$

Tabel 2. Data Pengukuran Berulang

Jalur	1-1	2-1	Δ -1	1-2	2-2	Δ -2	1-3	2-3	Δ -3
J-01	35,1	34,7	0,40	35,0	34,6	0,40	35,2	34,8	0,40
J-02	35,2	34,7	0,50	35,3	34,8	0,50	35,1	34,5	0,60
J-03	35,0	34,4	0,60	35,1	34,5	0,60	34,9	34,4	0,50
J-04	35,3	34,5	0,80	35,4	34,6	0,80	35,2	34,4	0,80
J-05	35,2	34,5	0,70	35,1	34,4	0,70	35,3	34,6	0,70
J-06	35,4	34,3	1,10	35,5	34,4	1,10	35,3	34,2	1,10
J-07	35,1	34,3	0,80	35,0	34,2	0,80	35,2	34,3	0,90
J-08	35,3	34,0	1,30	35,4	34,1	1,30	35,2	34,0	1,20
J-09	35,0	34,0	1,00	35,1	34,1	1,00	34,9	34,0	0,90
J-10	35,5	34,1	1,40	35,6	34,1	1,50	35,4	34,0	1,40
J-11	35,2	34,0	1,20	35,3	34,1	1,20	35,1	33,9	1,20
J-12	35,4	33,7	1,70	35,5	33,8	1,70	35,3	33,7	1,60

3.2. Koefisien Loss Masing-masing Fitting

Tabel 3. Nilai Koefisien Tiap Jenis Fitting

Jenis fitting	Kondisi pemasangan	(K) per fitting
Elbow	Elbow 90° standar	0,90
Tee	Aliran lurus, satu cabang tertutup	0,60
Valve (Cv 0,73)	Needle valve terbuka sempurna,	40,31
Union	Union pada pipa diameter sama	0,08
Reducer	Reducer gradual	0,25

Nilai koefisien loss needle valve ditentukan dari hubungan antara C_v dan K .

$$K_{\text{valve}} = \left(\frac{29,9 D_{\text{inch}}^2}{C_v} \right)^2 \quad (2)$$

$$D_{\text{inch}} = \frac{10}{25,4} = 0,3937 \text{ inch}$$

$$K_{\text{valve}} = \left[\frac{29,9(0,3937)^2}{0,73} \right]^2$$

$$K_{\text{valve}} = 40,31$$

3.3. Kecepatan dan Debit Aliran

Tabel 4. Data Kecepatan dan Debit Aliran

Jalur	$\rho \text{ N}_2$ (kg/m ³)	ΣK	Re	f	V (m/s)	Q (L/min)	Q (Nm ³ /jam)
J-01	40,58	42,19	114,9 50	0,018 6	4,985	23,49	49,96
J-02	40,63	43,61	127,5 90	0,018 3	5,527	26,05	55,45
J-03	40,38	82,66	107,0 69	0,018 8	4,667	21,99	46,53
J-04	40,60	84,81	123,3 38	0,018 4	5,347	25,20	53,60
J-05	40,53	43,09	137,2 16	0,018 1	5,959	28,08	59,63
J-06	40,54	86,31	140,1 39	0,018 0	6,084	28,67	60,90
J-07	40,34	83,56	120,8 44	0,018 4	5,272	24,84	52,52
J-08	40,31	87,21	146,5 17	0,017 9	6,397	30,14	63,68
J-09	40,16	43,99	145,9 84	0,017 9	6,398	30,15	63,44
J-10	40,46	88,11	150,0 42	0,017 8	6,527	30,76	65,21
J-11	40,23	85,36	137,1 55	0,018 1	6,000	28,27	59,61
J-12	40,20	129,3 2	141,0 17	0,018 0	6,174	29,09	61,29

3.4 Rekapitulasi Hasil Analisa Major Losses

Nilai major losses tidak selalu meningkat secara mutlak mengikuti panjang pipa. Hal ini karena major losses juga dipengaruhi oleh massa jenis gas, faktor gesekan, dan terutama kuadrat kecepatan aliran. Sebagai contoh, major losses J-03 lebih kecil daripada J-02 walaupun jalurnya lebih panjang karena kecepatan aliran J-03 lebih rendah. Demikian pula, J-11 memiliki major losses lebih kecil daripada J-10 karena kecepatan aliran pada J-11 turun dari 6,527 m/s menjadi 6,000 m/s.

Tabel 5. Data Major Losses

Jalur	L (m)	f	V (m/s)	ρ (Pa)	ΔP _{major} (Pa)	ΔP _{major} (bar)
J-01	20	0,0186	4,985	504,21	18.756,7	0,1876
J-02	22	0,0183	5,527	620,58	24.984,4	0,2498
J-03	25	0,0188	4,667	439,76	20.668,5	0,2067
J-04	27	0,0184	5,347	580,39	28.833,5	0,2883
J-05	30	0,0181	5,959	719,60	39.074,5	0,3907
J-06	32	0,0180	6,084	750,30	43.217,0	0,4322
J-07	35	0,0184	5,272	560,60	36.102,9	0,3610
J-08	38	0,0179	6,397	824,78	56.101,2	0,5610
J-09	40	0,0179	6,398	821,96	58.852,5	0,5885
J-10	43	0,0178	6,527	861,83	65.964,7	0,6596
J-11	46	0,0181	6,000	724,14	60.291,9	0,6029
J-12	50	0,0180	6,174	766,18	68.956,0	0,6896

3.5 Rekapitulasi Hasil Analisa Minor Losses

Nilai *pressure drop per unit* merupakan penurunan tekanan untuk satu buah fitting (*minor losses*). Nilai *subtotal* merupakan pressure drop seluruh fitting sejenis pada jalur tersebut. Nilai *koefisien loss* (loss coefficient, *K*) tidak dihitung secara teoritis dari persamaan dasar, melainkan diperoleh secara empiris melalui hasil pengujian laboratorium (experimental data) pada berbagai jenis fitting, valve, elbow, tee, reducer, dan komponen perpipaan lainnya. Nilai-nilai tersebut kemudian dikompilasi dalam handbook dan standar teknik yang menjadi acuan dalam perancangan sistem perpipaan. [7,8]

Tabel 6. Pressure Drop Tiap Fitting

J-01				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	2	0,90	0,0045	0,0091
Valve	1	40,31	0,2032	0,2032
Union	1	0,08	0,0004	0,0004
Total	4	42,19		0,2127
J-02				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	3	0,90	0,0056	0,0168
Tee	1	0,60	0,0037	0,0037
Valve	1	40,31	0,2501	0,2501
Total	5	43,61		0,2706
J-03				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	2	0,90	0,0040	0,0079
Valve	2	40,31	0,1772	0,3545
Reducer	1	0,25	0,0011	0,0011
Total	5	82,66		0,3635
J-04				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	4	0,90	0,0052	0,0209
Tee	1	0,60	0,0035	0,0035
Valve	2	40,31	0,2339	0,4679
Total	7	84,81		0,4922
J-05				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	3	0,90	0,0065	0,0194
Valve	1	40,31	0,2900	0,2900
Union	1	0,08	0,0006	0,0006
Total	5	43,09		0,3100
J-06				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	5	0,90	0,0068	0,0338
Tee	2	0,60	0,0045	0,0090
Valve	2	40,31	0,3024	0,6048
Total	9	86,31		0,6476
J-07				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	3	0,90	0,0050	0,0151
Valve	2	40,31	0,2260	0,4519
Reducer	1	0,25	0,0014	0,0014
Total	6	83,56		0,4685
J-08				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	6	0,90	0,0074	0,0445

Tee	2	0,60	0,0049	0,0099
Valve	2	40,31	0,3324	0,6648
Total	10	87,21		0,7193
J-09				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	4	0,90	0,0074	0,0296
Valve	1	40,31	0,3313	0,3313
Union	1	0,08	0,0007	0,0007
Total	6	43,99		0,3615
J-10				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	7	0,90	0,0078	0,0543
Tee	2	0,60	0,0052	0,0103
Valve	2	40,31	0,3473	0,6947
Total	11	88,11		0,7593
J-11				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	5	0,90	0,0065	0,0326
Valve	2	40,31	0,2919	0,5837
Reducer	1	0,25	0,0018	0,0018
Total	8	85,36		0,6181
J-12				
Jenis	Jumlah	(K) Per Unit	ΔP Per Unit (Bar)	Subtotal (Bar)
Elbow	8	0,90	0,0069	0,0552
Tee	2	0,60	0,0046	0,0092
Valve	3	40,31	0,3088	0,9264
Total	13	129,32		0,9907

Berdasarkan hasil perhitungan, needle valve merupakan fitting yang memberikan kontribusi pressure drop paling besar. Hal tersebut disebabkan nilai koefisien loss needle valve sebesar $K = 40,31$, sedangkan nilai K elbow hanya 0,90, tee 0,60, reducer 0,25, dan union 0,08. Dengan demikian, satu needle valve terbuka sempurna masih menghasilkan kehilangan tekanan yang setara dengan sekitar 44,8 buah elbow.

Pada J-01, pressure drop satu valve mencapai 0,2032 bar, sedangkan dua elbow hanya menghasilkan pressure drop sebesar 0,0091 bar. Artinya, valve menghasilkan pressure drop sekitar 22 kali lebih besar daripada gabungan dua elbow pada jalur tersebut.

Jalur J-12 mempunyai minor losses paling besar, yaitu 0,9907 bar. Hal ini disebabkan jalur tersebut memiliki tiga valve, delapan elbow, dan dua tee dengan total koefisien loss sebesar 129,32. Dari minor losses J-12, sebesar 0,9264 bar atau sekitar 93,5% berasal dari ketiga valve.

Jalur J-10 memiliki pressure drop lebih besar dibandingkan J-11 walaupun panjang J-10 lebih pendek. Kondisi tersebut disebabkan J-10 mempunyai tujuh elbow dan dua tee, sedangkan J-11 hanya mempunyai lima elbow dan satu reducer. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi fitting dapat menyebabkan jalur yang lebih pendek mempunyai pressure drop lebih tinggi daripada jalur yang lebih panjang.

Jalur J-09 mempunyai major losses lebih besar daripada minor losses, yaitu 0,5885 bar dibandingkan 0,3615 bar. Hal ini disebabkan jalur J-09 hanya memiliki satu valve, tetapi panjang pipanya mencapai 40 m. Sebaliknya, pada jalur dengan dua atau tiga valve, minor losses cenderung lebih dominan.

Secara keseluruhan, pressure drop sistem dipengaruhi secara simultan oleh panjang pipa, kecepatan aliran, jumlah fitting, dan jenis fitting. Namun, untuk konfigurasi fitting pada penelitian ini, jumlah needle valve menjadi faktor yang paling dominan terhadap minor losses.

Dalam data penelitian, panjang jalur bertambah dari 20 m pada J-01 menjadi 50 m pada J-12. Secara umum, major losses juga meningkat dari 0,1876 bar menjadi 0,6896 bar. Kecenderungan tersebut sejalan dengan penelitian Bambore et al. yang memodelkan kehilangan tekanan pada jaringan perpipaan gas dan menemukan bahwa panjang pipa, diameter, kekasaran, kondisi aliran, serta kerugian lokal harus dipertimbangkan secara simultan dalam menentukan pressure loss. Meskipun penelitian tersebut menggunakan gas hidrogen, prinsip kehilangan tekanan karena gesekan tetap relevan untuk nitrogen karena keduanya merupakan aliran gas dalam pipa tertutup. [9]

Hasil tersebut juga sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan Sherza, J. S. yang menunjukkan bahwa major losses berubah akibat panjang, diameter, dan kecepatan aliran. Penambahan panjang pipa menyebabkan peningkatan kerugian gesek selama parameter lain tidak berubah secara signifikan. Dalam penelitian ini, hubungan panjang dengan major losses tidak benar-benar linier karena setiap jalur mempunyai kecepatan, massa jenis, bilangan Reynolds, dan faktor gesekan yang sedikit berbeda. [10]

Sebagai contoh, J-03 sepanjang 25 m memiliki major losses 0,2067 bar, lebih kecil daripada J-02 sepanjang 22 m yang memiliki major losses 0,2498 bar. Penyimpangan tersebut bukan bertentangan dengan Darcy–Weisbach, tetapi disebabkan kecepatan J-03 hanya 4,667 m/s, sedangkan kecepatan J-02 sebesar 5,527 m/s. Karena pressure drop dipengaruhi oleh kuadrat kecepatan, penurunan kecepatan dapat mengimbangi pengaruh penambahan panjang.

Kogut et al, menyatakan bahwa peningkatan laju aliran gas menyebabkan peningkatan kecepatan linear, yang kemudian memperbesar pressure drop pada setiap segmen jaringan distribusi. Hambatan aliran dapat mengurangi tekanan yang tersedia

pada titik konsumen meskipun tekanan pada sumber relatif tinggi. [11]

Kecenderungan yang sama terlihat pada data simulasi. J-01 dengan kecepatan 4,985 m/s menghasilkan major losses 0,1876 bar, sedangkan J-10 dengan kecepatan 6,527 m/s menghasilkan major losses 0,6596 bar. Selain lebih panjang, J-10 memiliki tekanan dinamis yang lebih besar karena nilai V^2 meningkat.

Tekanan dinamis J-10 sekitar 71% lebih tinggi daripada J-01. Hal tersebut menyebabkan major losses dan minor losses pada J-10 menjadi lebih besar.

3.6 Analisa Regresi Linier

Berdasarkan data pengukuran tekanan rata-rata pada 12 jalur yang telah disusun, analisis Regresi Linier Berganda menghasilkan persamaan.

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (3)$$

Dalam metode OLS, koefisien regresi dihitung menggunakan persamaan normal. Oleh karena itu, selain data X_1 , X_2 , dan Y , diperlukan beberapa kolom turunan, yaitu X_1^2 , X_2^2 , X_1X_2 , X_1Y , dan X_2Y . Kolom-kolom tersebut diperoleh dari perkalian antar variabel pada setiap jalur.

Tabel 7. Data Metode OLS

Jalur	X_1	X_2	Y	X_1^2	X_2^2	X_1X_2	X_1Y	X_2Y
J-01	20	4	0.40	400	16	80	8.00	1.60
J-02	22	5	0.52	484	25	110	11.44	2.60
J-03	25	5	0.57	625	25	125	14.25	2.85
J-04	27	7	0.78	729	49	189	21.06	5.46
J-05	30	5	0.70	900	25	150	21.00	3.50
J-06	32	9	1.08	1024	81	288	34.56	9.72
J-07	35	6	0.83	1225	36	210	29.05	4.98
J-08	38	10	1.28	1444	100	380	48.64	12.80
J-09	40	6	0.95	1600	36	240	38.00	5.70
J-10	43	11	1.42	1849	121	473	61.06	15.62
J-11	46	8	1.22	2116	64	368	56.12	9.76
J-12	50	13	1.68	2500	169	650	84.00	21.84
Jumlah	408	89	11.43	14896	747	3263	427.18	96.43

Dari data diatas, diperoleh persamaan regresi sebagai berikut.

$$Y = -0,289 + 0,01793X_1 + 0,08523X_2 \quad (4)$$

Setiap tambahan 1 meter panjang pipa meningkatkan *pressure drop* sebesar 0,01793 bar, jika jumlah fitting tetap. Dan setiap tambahan 1 fitting meningkatkan *pressure drop* sebesar 0,08523 bar, jika panjang pipa tetap.

Tabel 8. Hasil Analisa Y Prediksi dan Aktual

Jalur	X_1	X_2	Y Aktual	$\hat{Y}$ Prediksi	Error ($Y - \hat{Y}$)
J-01	20	4	0,400	0,411	-0,011
J-02	22	5	0,520	0,532	-0,012
J-03	25	5	0,570	0,586	-0,016
J-04	27	7	0,780	0,792	-0,012
J-05	30	5	0,700	0,675	0,025
J-06	32	9	1,080	1,052	0,028
J-07	35	6	0,830	0,850	-0,020
J-08	38	10	1,280	1,245	0,035
J-09	40	6	0,950	0,940	0,010
J-10	43	11	1,420	1,420	0,000
J-11	46	8	1,220	1,218	0,002

J-12	50	13	1,680	1,716	-0,036
------	----	----	-------	-------	--------

3.7 Uji T (Parsial)

Uji t digunakan untuk mengetahui apakah masing-masing variabel independen berpengaruh secara signifikan terhadap *pressure drop*.

Hipotesis:

Untuk X_1 :

H_0 : Panjang jalur perpipaan tidak berpengaruh terhadap *pressure drop*.

H_1 : Panjang jalur perpipaan berpengaruh terhadap *pressure drop*.

Untuk X_2 :

H_0 : Jumlah *fitting* tidak berpengaruh terhadap *pressure drop*.

H_1 : Jumlah *fitting* berpengaruh terhadap *pressure drop*.

Taraf signifikansi: $\alpha = 0,05$

Jumlah sampel: $n = 12$

Jumlah variabel independen: $k = 2$

Derajat kebebasan:

$$df = n - k - 1$$

$$df = 12 - 2 - 1 = 9$$

Nilai t tabel ($\alpha = 0,05$, $df = 9$)

$$t_{tabel} = 2,262$$

Tabel 9. Data Uji t

Var.	K	(t) hitung	Sig.	Keputusan
X_1	0,01793	14,701	<0,001	H_0 ditolak
X_2	0,08523	20,361	<0,001	H_0 ditolak

Dari data hasil uji t diatas dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

1. Variabel Panjang Jalur Perpipaan (X_1)

Nilai t hitung sebesar 14,701 lebih besar daripada t tabel sebesar 2,262, serta nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya, panjang jalur perpipaan berpengaruh signifikan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini.

2. Variabel Jumlah *Fitting* (X_2)

Nilai t hitung sebesar 20,361 lebih besar daripada t tabel sebesar 2,262, serta nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya, jumlah *fitting* berpengaruh signifikan terhadap *pressure drop*. Selain itu, nilai t hitung variabel jumlah *fitting* lebih besar daripada panjang jalur perpipaan, sehingga pada data simulasi ini jumlah *fitting* merupakan variabel yang memberikan pengaruh lebih dominan.

3.8 Uji F (Simultan)

Uji F bertujuan mengetahui apakah kedua variabel independen secara bersama-sama berpengaruh terhadap *pressure drop*.

Hipotesis:

H_0 : Panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* secara simultan tidak berpengaruh terhadap *pressure drop*.

H_1 : Panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* secara simultan berpengaruh terhadap *pressure drop*.

Derajat kebebasan:

$$df_1 = k = 2 \quad (6)$$

$$df_2 = n - k - 1 = 9 \quad (7)$$

Pada taraf signifikansi 5%, nilai F tabel sekitar:

$$F_{tabel} = 4,26$$

Tabel 9. Data Uji F

(F) Hitung	(F) Tabel	Sig.	Keputusan
1499,00	4,26	<0,001	H_0 ditolak

Dari data hasil uji F diatas dapat diinterpretasikan sebagai nilai F hitung sebesar 1499,00 jauh lebih besar daripada F tabel sebesar 4,26, serta nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Oleh karena itu, H_0 ditolak dan H_1 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* secara simultan berpengaruh signifikan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X.

3.9 Koefisien Determinasi

Perhitungan koefisien determinasi didefinisikan sebagai rumusan berikut.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (8)$$

Untuk mendapatkan nilai SST (*Total Sum of Squares*) dan rata-rata $\bar{Y}$

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$(9)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$$(10)$$

$$\bar{Y} = \frac{11,43}{12}$$

$$\bar{Y} = 0,9525$$

Tabel 10. Data SST

Jalur	Y Aktual	Y_i	$(Y_i - \bar{Y})^2$
J-01	0,40	-0,5525	0,305256
J-02	0,52	-0,4325	0,187056
J-03	0,57	-0,3825	0,146306
J-04	0,78	-0,1725	0,029756
J-05	0,70	-0,2525	0,063756
J-06	1,08	0,1275	0,016256
J-07	0,83	-0,1225	0,015006
J-08	1,28	0,3275	0,107256
J-09	0,95	-0,0025	0,000006
J-10	1,42	0,4675	0,218556
J-11	1,22	0,2675	0,071556
J-12	1,68	0,7275	0,529256

Menjumlahkan seluruh nilai $(Y_i - \bar{Y})^2$.

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (11)$$

$$SST = 1,690225$$

Untuk mendapatkan nilai SSE (*Sum of Squared Errors*) adalah dengan menjumlahkan kuadrat seluruh residual antara nilai aktual dan nilai prediksi.

Tabel 11. Data SSE

Jalur	(Y)	(Ŷ)	e	e ²
J-01	0,400	0,411	-0,011	0,000121
J-02	0,520	0,532	-0,012	0,000144
J-03	0,570	0,586	-0,016	0,000256
J-04	0,780	0,792	-0,012	0,000144
J-05	0,700	0,675	0,025	0,000625
J-06	1,080	1,052	0,028	0,000784
J-07	0,830	0,850	-0,020	0,000400
J-08	1,280	1,245	0,035	0,001225
J-09	0,950	0,940	0,010	0,000100
J-10	1,420	1,420	0,000	0,000000
J-11	1,220	1,218	0,002	0,000004
J-12	1,680	1,716	-0,036	0,001296

Maka nilai dari adalah.

$$SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (12)$$

$$SSE = 0,005099$$

Maka koefisien determinasi yang konsisten dengan kedua nilai tersebut Adalah sebagai berikut. Atau bila dibuat angka presentasinya menjadi sekitar **99,70%**.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{0,005099}{1,690225} = 0,99698 \approx 0,997 \quad (13)$$

$$R^2 = 0,9970$$

$$R = \sqrt{R^2}$$

$$R = \sqrt{0,9970}$$

$$R = 0,9985$$

Lalu dicari nilai *Adjusted R²*

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-k-1} \right) \quad (14)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - 0,003691 = 0,996309$$

Dari data yang diolah melalui proses koefisien determinasi diatas, maka dapat diinterpretasikan sebagai berikut.

1. Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9970 menunjukkan bahwa 99,70% variasi *pressure drop* dapat dijelaskan oleh variasi panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting*. Sedangkan sisanya sebesar 0,30% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model penelitian.
2. Nilai R sebesar 0,9985 berada pada rentang 0,80–1,00, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa. Hubungan antara panjang jalur perpipaan (X_1) dan jumlah *fitting* (X_2) secara simultan terhadap *pressure drop* (Y) termasuk dalam kategori sangat kuat dan positif. Artinya, peningkatan panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* cenderung diikuti oleh peningkatan *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini.

Nilai *Adjusted R²* = 0,9963 menunjukkan bahwa setelah mempertimbangkan jumlah variabel independen (panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting*) serta jumlah sampel penelitian, model regresi masih mampu menjelaskan sekitar 99,63% variasi nilai *pressure drop*. Sisanya sekitar 0,37% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model penelitian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap 12 jalur distribusi gas nitrogen pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium PT. X, dapat disimpulkan bahwa panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* secara simultan berpengaruh signifikan terhadap *pressure drop*. Hasil analisis regresi linier berganda menghasilkan persamaan.

$$Y = -0,289 + 0,01793X_1 + 0,08523X_2 \quad (2)$$

Yang menunjukkan bahwa peningkatan panjang jalur perpipaan maupun jumlah *fitting* akan meningkatkan nilai *pressure drop*. Hasil uji statistik membuktikan bahwa model regresi signifikan, sedangkan nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,9970$) menunjukkan bahwa sekitar 99,70% variasi *pressure drop* dapat dijelaskan oleh kedua variabel penelitian, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model.

Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa jumlah *fitting* merupakan variabel yang memberikan pengaruh paling dominan terhadap *pressure drop* dibandingkan panjang jalur perpipaan. Temuan ini menegaskan bahwa konfigurasi jaringan perpipaan, khususnya penggunaan *fitting*, perlu menjadi perhatian utama dalam perancangan maupun evaluasi sistem rumah gas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar teknis untuk mengoptimalkan sistem distribusi gas sehingga kehilangan tekanan dapat diminimalkan serta keandalan dan efisiensi operasional Laboratorium PT. X dapat ditingkatkan.

Daftar Rujukan

- [1] Compressed Gas Association. (2020). *Handbook of Compressed Gases* (5th ed.).
- [2] ASTM International. (2021). *ASTM MNL 35: Manual for the safe use of compressed gases in laboratory environments.*; Compressed Gas Association (CGA). (2020). *Handbook of Compressed Gases* (5th ed.).
- [3] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [4] Fox, R. W., McDonald, A. T., Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2020). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- [5] White, F. M. (2021). *Fluid Mechanics* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- [6] Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2021). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (9th ed.). John Wiley & Sons.

- [7] Crane Co. (2018). *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe* (Technical Paper No. 410). Crane Co.
- [8] Bai, Q., & Bai, Y. (2014). *Subsea pipeline design, analysis, and installation*. Elsevier.
- [9] Bambore, A., Hendrick, P., & Ponthot, J.-P. (2026). Study, modelling and computing of pressure losses in GH2 pipelines. *Energies*, 19(4), 885. <https://doi.org/10.3390/en19040885>.
- [10] Sherza, J. S. (2024). Theoretical investigation of the major and minor losses in pipes and fittings. *Journal of Engineering and Sustainable Development*.
- [11] Kogut, K., Kapusta, K., & Stańczyk, K. (2025). Changes in the operating conditions of distribution gas networks as a function of altitude conditions and the proportion of hydrogen in transported natural gas. *Hydrogen*, 6(4), 82.