

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur, kesehatan, energi, serta penelitian dalam beberapa dekade terakhir telah meningkatkan kebutuhan terhadap sistem distribusi gas yang andal, aman, dan efisien. Berbagai jenis gas industri seperti nitrogen (N_2), oksigen (O_2), argon (Ar), helium (He), karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen (H_2) kini menjadi bagian penting dalam proses produksi maupun kegiatan laboratorium. Di lingkungan laboratorium, gas digunakan sebagai media analisis instrumen, gas pelindung, gas kalibrasi, maupun gas pendukung berbagai proses pengujian. Oleh karena itu, kontinuitas pasokan gas dengan tekanan yang stabil menjadi salah satu aspek penting yang menentukan kualitas hasil pengujian maupun keselamatan operasional (Compressed Gas Association [CGA], 2020; ASTM International, 2021).

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, banyak laboratorium telah menerapkan sistem rumah gas (*gas manifold system*) yang mendistribusikan gas dari beberapa tabung penyimpanan menuju berbagai titik pemakaian melalui jaringan perpipaan. Sistem ini dipilih karena lebih aman dan efisien dibandingkan penggunaan tabung gas secara individual di setiap alat. Dengan sistem distribusi terpusat, penggantian tabung dapat dilakukan lebih mudah, risiko perpindahan tabung berulang dapat dikurangi, dan pengendalian terhadap kondisi operasional menjadi lebih baik (Compressed Gas Association [CGA], 2020).

Meskipun demikian, kinerja sistem rumah gas tidak hanya ditentukan oleh kapasitas tabung maupun regulator tekanan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik jaringan perpipaan. 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 (Çengel & Cimbala, 2018; Fox et al., 2020).

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 (White, 2021; Munson et al., 2017).

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 (White, 2021).

Secara teoritis, kehilangan tekanan akibat aliran dalam pipa telah dijelaskan melalui prinsip mekanika fluida, salah satunya menggunakan persamaan Darcy–Weisbach yang menyatakan bahwa kehilangan tekanan dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, faktor gesekan, dan kecepatan aliran. Selain itu, komponen seperti elbow, tee, valve, dan reducer menghasilkan kehilangan tekanan lokal (*minor losses*) yang jika terakumulasi dapat memberikan kontribusi cukup besar terhadap total pressure drop. Oleh karena itu, dalam perancangan maupun evaluasi sistem perpipaan industri, aspek panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting selalu menjadi perhatian utama karena secara langsung memengaruhi efisiensi distribusi fluida.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pressure drop merupakan parameter penting dalam evaluasi sistem perpipaan. Penelitian mengenai analisis pressure drop pada sistem perpipaan air bersih di kawasan industri menunjukkan bahwa semakin panjang jalur perpipaan dan semakin banyak komponen lokal yang dilalui, semakin besar kehilangan tekanan yang terjadi. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan perhitungan hidraulik berdasarkan persamaan Darcy–Weisbach dan menunjukkan bahwa evaluasi pressure drop diperlukan untuk memastikan sistem distribusi tetap memenuhi kebutuhan operasional.

Penelitian lain mengenai distribusi gas menjelaskan bahwa kestabilan tekanan menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan sistem distribusi.

Fluktuasi tekanan yang tidak terkendali dapat meningkatkan risiko gangguan operasional, menurunkan efisiensi distribusi, serta berdampak pada keselamatan sistem. Oleh karena itu, pemantauan pressure drop dan evaluasi faktor-faktor penyebabnya merupakan bagian penting dalam pengelolaan jaringan distribusi gas (Compressed Gas Association, 2020).

Meskipun berbagai penelitian mengenai pressure drop telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem perpipaan minyak dan gas, jaringan distribusi air bersih, maupun analisis menggunakan simulasi perangkat lunak. Penelitian yang secara khusus mengkaji sistem rumah gas laboratorium melalui pendekatan observasi lapangan masih relatif terbatas. Padahal, karakteristik sistem rumah gas laboratorium memiliki perbedaan dibandingkan jaringan distribusi skala industri, terutama dari sisi kapasitas aliran, konfigurasi jalur, jumlah outlet, serta pola pemakaian gas yang bersifat dinamis.

Selain itu, sebagian penelitian terdahulu menggunakan simulasi numerik atau perangkat lunak hidraulik sebagai metode utama analisis. Walaupun simulasi memberikan gambaran perilaku sistem, hasilnya sangat bergantung pada asumsi model, parameter masukan, dan kondisi batas yang digunakan. Kondisi aktual di lapangan sering kali menunjukkan variasi yang tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh model simulasi. Oleh karena itu, penelitian berbasis pengukuran langsung pada instalasi yang sedang beroperasi masih memiliki nilai ilmiah dan praktis yang tinggi karena mampu menggambarkan kondisi nyata sistem distribusi gas.

Penelitian mengenai pressure drop pada sistem perpipaan telah berkembang cukup pesat, namun masih terdapat beberapa kesenjangan (*research gap*) yang

perlu dikaji lebih lanjut. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu berorientasi pada sistem perpipaan industri berskala besar seperti distribusi minyak, gas alam, air bersih, maupun sistem perpompaan. Karakteristik sistem tersebut berbeda dengan sistem rumah gas laboratorium yang memiliki debit relatif kecil, tekanan operasi tertentu, jumlah outlet yang lebih banyak, serta pola pemakaian gas yang berubah sesuai aktivitas pengujian laboratorium. Oleh karena itu, hasil penelitian pada sistem perpipaan industri belum tentu dapat diterapkan secara langsung pada sistem rumah gas laboratorium.

Kedua, sebagian besar penelitian menggunakan pendekatan simulasi numerik, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), maupun perangkat lunak analisis hidraulik untuk memprediksi kehilangan tekanan. Pendekatan tersebut sangat bermanfaat dalam tahap perancangan, namun hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh asumsi model, kondisi batas, dan parameter yang digunakan. Apabila data masukan tidak sesuai dengan kondisi aktual, maka hasil simulasi dapat berbeda dari kondisi lapangan. Sebaliknya, penelitian berbasis observasi dan pengukuran langsung memberikan gambaran nyata mengenai performa sistem yang sedang beroperasi sehingga hasilnya lebih representatif sebagai dasar evaluasi operasional.

Ketiga, penelitian yang secara simultan mengkaji pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop pada sistem rumah gas laboratorium masih relatif terbatas. Padahal kedua variabel tersebut merupakan faktor yang paling mudah diamati, diukur, dan dikendalikan pada instalasi yang telah beroperasi. Informasi mengenai besarnya pengaruh masing-masing variabel sangat diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi teknis apabila dilakukan pengembangan jaringan distribusi gas di masa mendatang.

Secara teknis, setiap penambahan panjang pipa akan meningkatkan luas bidang kontak antara aliran gas dengan dinding pipa sehingga gaya gesek yang terjadi juga meningkat. Di sisi lain, setiap komponen fitting seperti elbow, tee, valve, reducer, maupun sambungan lainnya menyebabkan perubahan arah atau perubahan karakteristik aliran yang menghasilkan kehilangan tekanan lokal (*minor losses*). Akumulasi kehilangan tekanan akibat gesekan sepanjang pipa (*major losses*) dan kehilangan tekanan lokal akan menentukan besarnya pressure drop total yang diterima pada setiap titik pemakaian. Konsep tersebut telah dijelaskan secara luas dalam teori mekanika fluida melalui persamaan Darcy–Weisbach yang menyatakan bahwa kehilangan tekanan meningkat seiring bertambahnya panjang pipa dan hambatan aliran.

Dalam praktik operasional laboratorium, tekanan gas yang stabil merupakan syarat penting agar berbagai instrumen analitik dapat bekerja sesuai spesifikasi pabrikan. Penurunan tekanan yang berlebihan dapat menyebabkan ketidakstabilan aliran gas, memperpanjang waktu analisis, meningkatkan frekuensi gangguan peralatan, bahkan menurunkan akurasi hasil pengujian pada instrumen yang memerlukan tekanan gas konstan. Oleh sebab itu, evaluasi terhadap pressure drop tidak hanya berkaitan dengan efisiensi sistem perpipaan, tetapi juga berhubungan dengan kualitas proses pengujian laboratorium secara keseluruhan. Beberapa penelitian pada sistem pengujian gas juga menunjukkan bahwa kestabilan tekanan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi konsistensi hasil analisis laboratorium.

Laboratorium X sebagai objek penelitian memiliki sistem rumah gas multi-lini yang mendistribusikan gas menuju beberapa titik pemakaian melalui jalur

perpipaan dengan panjang dan konfigurasi yang berbeda. Perbedaan tersebut berpotensi menyebabkan variasi pressure drop pada setiap outlet. Namun hingga saat ini belum terdapat kajian kuantitatif yang secara khusus mengukur besarnya pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop pada sistem tersebut. Akibatnya, informasi teknis yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi maupun pengembangan sistem distribusi gas masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dipandang penting untuk menghasilkan data empiris mengenai hubungan antara panjang jalur perpipaan, jumlah fitting, dan pressure drop pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang banyak menggunakan pendekatan simulasi, penelitian ini menggunakan pendekatan observasional kuantitatif melalui pengukuran langsung tekanan pada sistem yang sedang beroperasi. Pendekatan ini diharapkan mampu menggambarkan kondisi aktual instalasi sehingga hasil penelitian memiliki tingkat aplikabilitas yang lebih tinggi dalam mendukung pengambilan keputusan teknis.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek utama. Pertama, penelitian dilakukan pada sistem rumah gas laboratorium yang masih jarang menjadi objek penelitian dibandingkan sistem perpipaan industri berskala besar. Kedua, penelitian menggunakan data hasil pengukuran langsung pada instalasi aktual tanpa melakukan simulasi numerik maupun modifikasi terhadap sistem, sehingga hasilnya mencerminkan kondisi operasional sebenarnya. Ketiga, penelitian menganalisis pengaruh dua variabel yang mudah diidentifikasi di lapangan, yaitu panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting, sehingga hasilnya dapat langsung dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi maupun perbaikan sistem distribusi gas.

Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai penerapan prinsip mekanika fluida pada sistem distribusi gas laboratorium, khususnya yang berkaitan dengan fenomena pressure drop. Hasil penelitian juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang membahas optimasi jaringan perpipaan, efisiensi distribusi gas, maupun evaluasi sistem utilitas laboratorium. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan bukti empiris mengenai pengaruh karakteristik perpipaan terhadap kehilangan tekanan pada sistem rumah gas yang selama ini lebih banyak dibahas secara teoritis atau melalui simulasi.

Dari sisi praktis, hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat bagi pengelola Laboratorium X dalam mengevaluasi performa sistem rumah gas yang telah beroperasi. Informasi mengenai besarnya pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop dapat dijadikan dasar dalam menentukan prioritas perbaikan jaringan perpipaan, menyusun rencana pengembangan instalasi, maupun meningkatkan keandalan distribusi gas ke setiap titik pemakaian. Dengan distribusi tekanan yang lebih stabil, diharapkan kinerja peralatan laboratorium dapat dipertahankan sesuai spesifikasi sehingga kualitas proses pengujian menjadi lebih baik.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah berupa pengembangan kajian mekanika fluida pada sistem distribusi gas laboratorium serta kontribusi praktis berupa rekomendasi teknis untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kestabilan distribusi gas pada sistem rumah gas yang digunakan di Laboratorium X.

1.2. Identifikasi Masalah

Perkembangan teknologi laboratorium modern mendorong meningkatnya penggunaan sistem rumah gas (*gas manifold system*) sebagai sarana distribusi berbagai gas industri, seperti nitrogen, oksigen, argon, helium, dan gas khusus lainnya. Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan gas dari sumber penyimpanan menuju beberapa titik pemakaian secara terpusat, sehingga mampu meningkatkan aspek keselamatan, efisiensi operasional, dan kemudahan pengendalian dibandingkan penggunaan tabung gas secara individual. Seiring meningkatnya jumlah laboratorium penelitian, laboratorium pengujian mutu, industri farmasi, petrokimia, serta laboratorium pendidikan, kebutuhan terhadap sistem distribusi gas yang memiliki tekanan stabil dan andal juga semakin meningkat. Bahkan, pasar global sistem gas manifold diperkirakan terus bertumbuh karena meningkatnya kebutuhan distribusi gas pada sektor industri, kesehatan, dan laboratorium.

Dalam sistem distribusi gas tersebut, salah satu parameter teknis yang sangat menentukan kualitas distribusi adalah *pressure drop* atau kehilangan tekanan sepanjang jalur perpipaan. Pressure drop merupakan fenomena mekanika fluida yang terjadi akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa (*major losses*) serta hambatan lokal akibat komponen seperti elbow, tee, valve, reducer, dan fitting lainnya (*minor losses*). Apabila kehilangan tekanan terlalu besar, maka tekanan gas yang diterima pada titik pemakaian tidak lagi sesuai dengan kebutuhan operasi peralatan laboratorium. Kondisi tersebut dapat mengurangi stabilitas suplai gas, menurunkan performa instrumen analitik, memperbesar konsumsi energi sistem distribusi, serta berpotensi meningkatkan risiko gangguan operasional. Kajian terkini juga menunjukkan bahwa pengendalian pressure drop menjadi salah satu

aspek penting dalam menjaga efisiensi dan keandalan sistem perpipaan pada berbagai aplikasi industri dan laboratorium.

Fenomena tersebut juga berpotensi terjadi pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X. Sistem ini mendistribusikan gas menuju beberapa titik pemakaian melalui jaringan perpipaan yang memiliki panjang jalur dan jumlah fitting yang berbeda pada setiap cabangnya. Perbedaan konfigurasi tersebut diduga menyebabkan variasi pressure drop antarjalur sehingga tekanan gas yang diterima oleh setiap outlet tidak selalu seragam. Apabila kondisi ini tidak diketahui atau tidak dievaluasi secara berkala, maka distribusi gas dapat menjadi kurang optimal. Dalam jangka panjang, kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem, meningkatnya frekuensi perawatan, serta berpotensi mengurangi umur pakai komponen distribusi gas akibat beban kerja yang tidak merata.

Permasalahan lain yang menjadi perhatian adalah belum tersedianya data kuantitatif mengenai besarnya pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop pada sistem rumah gas di Laboratorium X. Selama ini evaluasi sistem lebih banyak dilakukan berdasarkan pengalaman operasional atau pemeriksaan rutin terhadap komponen, tanpa didukung oleh analisis statistik mengenai hubungan antara karakteristik perpipaan dengan kehilangan tekanan. Akibatnya, apabila di masa mendatang dilakukan pengembangan jaringan distribusi gas atau penambahan titik pemakaian, belum terdapat dasar teknis yang kuat untuk menentukan konfigurasi perpipaan yang mampu meminimalkan pressure drop.

Berbagai penelitian terdahulu telah membahas fenomena pressure drop pada sistem perpipaan. Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa panjang pipa, diameter pipa, laju aliran, dan konfigurasi fitting merupakan faktor yang

memengaruhi besarnya kehilangan tekanan. Namun, mayoritas penelitian dilakukan pada sistem distribusi air, sistem perpompaan, perpipaan minyak dan gas, maupun distribusi uap di sektor industri. Selain itu, sebagian besar penelitian menggunakan pendekatan simulasi numerik atau perangkat lunak analisis hidraulik sehingga hasil yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh asumsi model dan kondisi batas yang digunakan.

Berdasarkan telaah literatur tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian (*research gap*) yang perlu diisi. Pertama, penelitian mengenai pressure drop pada sistem rumah gas laboratorium masih relatif terbatas dibandingkan penelitian pada sistem perpipaan industri. Kedua, penelitian yang menggunakan pendekatan observasi lapangan melalui pengukuran langsung pada sistem rumah gas yang sedang beroperasi masih jarang ditemukan. Ketiga, belum banyak penelitian yang secara simultan menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap pressure drop pada sistem rumah gas multi-lini laboratorium. Padahal kedua variabel tersebut merupakan faktor yang paling mudah diidentifikasi dan dikendalikan dalam proses perancangan maupun evaluasi sistem perpipaan.

Apabila kesenjangan tersebut tidak diteliti, maka pengembangan sistem rumah gas di laboratorium akan lebih banyak didasarkan pada pendekatan empiris daripada bukti kuantitatif. Kondisi ini berpotensi menghasilkan konfigurasi perpipaan yang kurang efisien, meningkatkan kehilangan tekanan, menurunkan keandalan distribusi gas, serta menambah biaya operasional akibat perlunya penyesuaian sistem setelah instalasi selesai dibangun. Dari sisi akademik, keterbatasan data empiris mengenai karakteristik pressure drop pada sistem rumah gas laboratorium juga menyebabkan masih terbatasnya referensi yang dapat

digunakan sebagai dasar pengembangan penelitian di bidang mekanika fluida terapan dan sistem utilitas laboratorium.

Berdasarkan fenomena, fakta, dan kesenjangan penelitian tersebut, dapat diidentifikasi bahwa permasalahan utama penelitian ini adalah belum diketahuinya secara kuantitatif besarnya pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh bukti empiris melalui pengukuran langsung terhadap kondisi aktual sistem distribusi gas sehingga dapat diketahui hubungan antara kedua variabel tersebut dengan *pressure drop*. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah dalam evaluasi, pengembangan, dan optimalisasi sistem rumah gas laboratorium serta memperkaya kajian di bidang teknik mesin, khususnya mekanika fluida dan sistem perpipaan.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, diketahui bahwa masih terbatasnya penelitian yang mengkaji pengaruh karakteristik jaringan perpipaan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini laboratorium melalui pengukuran langsung di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting secara simultan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X?

2. Variabel manakah yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X, antara panjang jalur perpipaan atau jumlah fitting?

1.4. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk.

1. Menganalisis pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting secara simultan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X.
2. Menganalisis variabel yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X antara panjang jalur perpipaan dan jumlah fitting.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapannya pada sistem distribusi gas laboratorium.

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang Teknik Mesin yang berkaitan dengan mekanika fluida, sistem perpipaan, dan distribusi gas industri. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai hubungan antara karakteristik jaringan perpipaan, khususnya panjang jalur

perpipaan dan jumlah *fitting*, terhadap besarnya *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini.

Penelitian ini juga memberikan bukti empiris mengenai penerapan teori kehilangan tekanan (*pressure loss*) berdasarkan konsep *major losses* dan *minor losses* pada sistem distribusi gas laboratorium yang beroperasi secara aktual. Selama ini, sebagian besar penelitian mengenai *pressure drop* lebih banyak dilakukan pada sistem perpipaan air, minyak, gas alam, maupun instalasi industri berskala besar dengan pendekatan simulasi numerik. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat melengkapi kajian sebelumnya melalui pendekatan observasional berbasis pengukuran langsung pada sistem rumah gas laboratorium.

Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah bagi penelitian selanjutnya yang membahas evaluasi kinerja sistem perpipaan, optimasi distribusi gas, efisiensi sistem utilitas laboratorium, maupun pengembangan desain jaringan perpipaan pada fasilitas penelitian dan industri. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu memperluas penerapan teori mekanika fluida dalam konteks sistem rumah gas yang masih relatif jarang dikaji pada penelitian tingkat sarjana.

1. Bagi Laboratorium X

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem rumah gas multi-lini yang digunakan di Laboratorium X. Informasi mengenai pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan pemeliharaan, pengembangan, maupun penataan kembali jaringan perpipaan agar distribusi tekanan gas ke setiap titik pemakaian menjadi lebih stabil dan efisien.

2. Bagi Pengelola dan Teknisi Sistem Rumah Gas

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi teknis mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kehilangan tekanan pada sistem distribusi gas. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan konfigurasi jalur perpipaan, meminimalkan penggunaan *fitting* yang tidak diperlukan, serta mendukung proses inspeksi dan evaluasi performa sistem secara berkala. Dengan demikian, keandalan sistem distribusi gas dapat ditingkatkan tanpa harus melakukan perubahan desain yang kompleks.

3. Bagi Institusi Pendidikan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan referensi akademik bagi mahasiswa, dosen, maupun peneliti dalam mempelajari penerapan mekanika fluida pada sistem perpipaan gas. Penelitian ini juga dapat dijadikan bahan pembelajaran pada mata kuliah yang berkaitan dengan mekanika fluida, perpindahan fluida, utilitas industri, serta perancangan sistem perpipaan.

4. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan penelitian lanjutan mengenai sistem rumah gas maupun sistem distribusi fluida lainnya. Data empiris yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembanding dalam penelitian yang melibatkan variabel lain, seperti diameter pipa, laju aliran gas, tekanan masuk (*inlet pressure*), jenis material pipa, maupun karakteristik fluida. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar validasi untuk penelitian yang

menggunakan pendekatan simulasi numerik maupun optimasi desain sistem perpipaan.

5. Bagi Dunia Industri

Temuan penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan bagi industri yang menggunakan sistem distribusi gas terpusat, seperti industri farmasi, petrokimia, makanan dan minuman, rumah sakit, serta laboratorium penelitian. Informasi mengenai hubungan antara panjang jalur perpipaan, jumlah *fitting*, dan *pressure drop* dapat dijadikan salah satu pertimbangan dalam perencanaan maupun evaluasi sistem distribusi gas sehingga sistem yang dibangun memiliki efisiensi operasional yang lebih baik, kehilangan tekanan yang lebih kecil, serta mampu mendukung kontinuitas proses produksi maupun pengujian.

1.6. Batasan Masalah

Agar penelitian memiliki ruang lingkup yang jelas, terarah, dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada sistem rumah gas (*gas manifold system*) multi-lini yang beroperasi di Laboratorium X sebagai objek penelitian.
2. Jenis gas yang menjadi objek penelitian dibatasi pada gas nitrogen yang digunakan pada sistem rumah gas Laboratorium X selama periode penelitian, dengan kondisi operasi normal sesuai prosedur operasional laboratorium.

3. Penelitian difokuskan pada analisis *pressure drop* yang terjadi pada jalur distribusi gas dari sisi tabung (*inlet*) manifold hingga titik pemakaian (*outlet point*).
4. Variabel independen (*independent variables*) dalam penelitian ini terdiri atas panjang jalur perpipaan (X_1), yang diukur berdasarkan panjang aktual jalur distribusi gas dari manifold menuju titik pemakaian, serta jumlah *fitting* (X_2), yang dihitung berdasarkan jumlah komponen perpipaan seperti *elbow*, *tee*, *valve*, *reducer*, dan sambungan lain yang terdapat pada setiap jalur distribusi gas.
5. Variabel dependen (*dependent variable*) dalam penelitian ini adalah *Pressure drop* (Y), yaitu selisih antara tekanan gas pada sisi keluaran manifold (*inlet pressure*) dengan tekanan gas pada titik pemakaian (*outlet pressure*) yang diukur pada masing-masing jalur distribusi.
6. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, pengukuran langsung terhadap sistem rumah gas, dokumentasi instalasi perpipaan, dan pencatatan data teknis, tanpa melakukan perubahan desain, modifikasi instalasi, maupun simulasi numerik terhadap sistem yang diteliti.
7. Penelitian tidak membahas pengaruh variabel lain yang dapat memengaruhi *pressure drop*, seperti:
 - a. diameter pipa;
 - b. material pipa;
 - c. kekasaran permukaan pipa;
 - d. temperatur gas;

- e. laju aliran (*flow rate*);
 - f. jenis gas yang berbeda;
 - g. kondisi regulator tekanan;
 - h. umur instalasi perpipaan;
 - i. kebocoran sistem;
 - j. maupun faktor operasional lainnya.
8. Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik kuantitatif melalui regresi linier berganda untuk mengetahui pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop*, dengan didukung uji statistik berupa uji asumsi klasik, uji T, uji F, dan koefisien determinasi (R^2).
9. Populasi penelitian adalah seluruh jalur distribusi gas pada sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X. Apabila jumlah jalur distribusi relatif terbatas, maka seluruh populasi dijadikan objek penelitian (*total sampling*). Jika jumlah jalur sangat banyak dan memiliki karakteristik yang beragam, pengambilan sampel dilakukan secara purposive sampling, yaitu memilih jalur yang memenuhi kriteria operasional dan memiliki data teknis yang lengkap.
10. Hasil penelitian dibatasi pada penyusunan kesimpulan mengenai pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* serta rekomendasi teknis untuk meningkatkan efisiensi distribusi gas pada sistem rumah gas Laboratorium X. Penelitian ini tidak mencakup perancangan ulang (*redesign*) sistem perpipaan maupun analisis ekonomi terhadap perubahan konfigurasi instalasi.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran mengenai isi setiap bab sehingga pembahasan penelitian tersusun secara sistematis, logis, dan mudah dipahami. Adapun sistematika penulisan skripsi ini terdiri atas lima bab sebagai berikut.

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini merupakan bagian awal penelitian yang menjelaskan dasar pemikiran dilaksanakannya penelitian. Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang penelitian yang menjelaskan kondisi umum sistem rumah gas, fenomena *pressure drop* pada sistem perpipaan, permasalahan yang terjadi, urgensi penelitian, serta *research gap* berdasarkan penelitian terdahulu. Selanjutnya disajikan identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, serta sistematika penulisan skripsi sebagai pedoman penyusunan keseluruhan penelitian.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat landasan teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian. Pembahasan meliputi teori mengenai mekanika fluida, konsep aliran fluida dalam pipa, teori *pressure drop*, kehilangan tekanan (*major losses* dan *minor losses*), sistem rumah gas (*gas manifold system*), karakteristik jaringan perpipaan, komponen *fitting* pada sistem perpipaan, serta teori mengenai analisis regresi linier berganda yang digunakan dalam pengolahan data.

Selain itu, pada bab ini dipaparkan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian sebagai dasar dalam mengidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*). Selanjutnya disusun kerangka pemikiran yang menggambarkan hubungan antara variabel independen, yaitu panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting*, terhadap variabel dependen berupa *pressure drop*. Bab ini juga memuat hipotesis penelitian yang akan diuji berdasarkan data empiris yang diperoleh di lapangan.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Pembahasan meliputi jenis dan pendekatan penelitian, lokasi serta waktu penelitian, populasi dan teknik pengambilan sampel, variabel penelitian beserta definisi operasionalnya, serta jenis dan sumber data yang digunakan.

Selanjutnya dijelaskan teknik pengumpulan data melalui observasi lapangan, pengukuran langsung tekanan pada sistem rumah gas, dokumentasi instalasi perpipaan, serta pencatatan data teknis seperti panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting*. Bab ini juga menguraikan beberapa instrumen penelitian yang digunakan, prosedur pelaksanaan penelitian, teknik pengolahan data, serta metode analisis statistik yang meliputi statistik deskriptif, uji asumsi klasik, analisis regresi linier berganda, uji T, uji F, dan koefisien determinasi (R^2) untuk menjawab rumusan masalah penelitian.

4. Bab IV Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari proses pengumpulan data di Laboratorium X. Pembahasan diawali dengan deskripsi objek penelitian, karakteristik sistem rumah gas multi-lini, serta penyajian data hasil pengukuran panjang jalur perpipaan, jumlah *fitting*, tekanan masuk (*inlet pressure*), tekanan keluar (*outlet pressure*), dan nilai *pressure drop* pada setiap jalur distribusi gas.

Selanjutnya dilakukan analisis data menggunakan metode statistik sesuai dengan rancangan penelitian. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian interpretatif yang mencakup hasil statistik deskriptif, uji asumsi klasik, analisis regresi linier berganda, uji t, uji F, serta koefisien determinasi (R^2). Pembahasan kemudian difokuskan pada interpretasi hubungan antara panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop*, perbandingan hasil penelitian dengan teori maupun penelitian terdahulu, serta implikasi teknis dari temuan penelitian terhadap evaluasi sistem rumah gas di Laboratorium X.

5. Bab V Penutup

Bab ini merupakan bagian akhir dari skripsi yang memuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian. Kesimpulan disusun secara ringkas untuk menjawab seluruh rumusan masalah dan menunjukkan pencapaian tujuan penelitian.

Selain itu, bab ini memuat implikasi penelitian, baik secara teoretis maupun praktis, terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang mekanika fluida dan sistem perpipaan serta penerapannya pada sistem

rumah gas laboratorium. Pada bagian akhir disampaikan saran yang ditujukan kepada pengelola Laboratorium X sebagai bahan evaluasi dan pengembangan sistem distribusi gas, serta rekomendasi bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian dengan menambahkan variabel lain, seperti diameter pipa, debit aliran, tekanan masuk, karakteristik material pipa, maupun analisis optimasi sistem menggunakan pendekatan eksperimental atau simulasi numerik.

1.8. Gambaran Umum Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah sistem rumah gas (*gas manifold system*) multi-lini yang beroperasi di Laboratorium X. Sistem rumah gas merupakan salah satu fasilitas utilitas laboratorium yang berfungsi sebagai pusat penyimpanan, pengaturan, dan pendistribusian gas industri menuju berbagai titik pemakaian melalui jaringan perpipaan. Penerapan sistem distribusi gas terpusat bertujuan untuk meningkatkan keselamatan kerja, menjaga kontinuitas pasokan gas, memudahkan pengawasan operasional, serta meningkatkan efisiensi penggunaan gas dibandingkan penggunaan tabung gas secara terpisah pada setiap peralatan laboratorium.

Perkembangan sistem rumah gas tidak terlepas dari meningkatnya kebutuhan akan distribusi gas yang aman dan stabil pada berbagai sektor industri, fasilitas kesehatan, serta laboratorium penelitian. Seiring berkembangnya teknologi analisis laboratorium, penggunaan gas industri dan gas kalibrasi lainnya semakin meningkat. Gas-gas tersebut digunakan sebagai gas pembawa (*carrier gas*), gas pelindung (*shielding gas*), gas instrumen, maupun media pendukung berbagai

proses pengujian. Oleh karena itu, sistem distribusi gas yang mampu mempertahankan tekanan dan laju aliran secara stabil menjadi salah satu persyaratan penting dalam menunjang keandalan operasional laboratorium.

Secara global, kebutuhan terhadap sistem distribusi gas terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah laboratorium penelitian, industri farmasi, industri petrokimia, industri makanan dan minuman, rumah sakit, serta pusat riset. Pertumbuhan tersebut mendorong pengembangan sistem rumah gas yang lebih aman, efisien, dan mudah dipelihara. Selain itu, penerapan standar keselamatan kerja dalam pengelolaan gas bertekanan juga semakin diperketat untuk meminimalkan risiko kebocoran, penurunan tekanan, maupun gangguan distribusi gas yang dapat memengaruhi keselamatan personel dan kualitas proses pengujian.

Laboratorium X merupakan salah satu laboratorium yang menggunakan sistem rumah gas multi-lini sebagai sarana distribusi gas menuju beberapa titik pemakaian. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu tabung penyimpanan gas, manifold, regulator tekanan, katup pengaman (*safety valve*), katup isolasi (*shut-off valve*), jaringan perpipaan, berbagai jenis *fitting* (seperti *elbow*, *tee*, *union*, dan *reducer*), serta outlet gas pada setiap titik pemakaian. Seluruh komponen tersebut saling terhubung membentuk suatu sistem distribusi yang dirancang untuk mengalirkan gas dari sumber menuju peralatan laboratorium dengan tekanan yang sesuai dengan kebutuhan operasional.

Secara umum, alur distribusi gas pada sistem rumah gas di Laboratorium X dimulai dari tabung gas bertekanan tinggi yang ditempatkan pada ruang penyimpanan khusus. Gas kemudian dialirkan menuju manifold sebagai pusat penggabungan beberapa tabung gas sehingga kontinuitas pasokan dapat

dipertahankan ketika salah satu tabung habis digunakan. Selanjutnya gas melewati regulator untuk menurunkan tekanan dari tekanan tabung menjadi tekanan kerja sistem. Setelah itu gas dialirkan melalui jaringan perpipaan menuju beberapa titik pemakaian yang tersebar pada area laboratorium. Pada setiap jalur distribusi terdapat sejumlah *fitting* yang berfungsi mengubah arah aliran, membagi jalur distribusi, menghubungkan pipa, maupun mengatur proses pemeliharaan sistem.

Karakteristik sistem rumah gas multi-lini di Laboratorium X menunjukkan bahwa setiap jalur distribusi memiliki konfigurasi yang berbeda, baik dari sisi panjang jalur perpipaan maupun jumlah *fitting* yang digunakan. Perbedaan konfigurasi tersebut disebabkan oleh letak ruang laboratorium, posisi instrumen, kebutuhan distribusi gas, serta keterbatasan tata letak bangunan. Akibatnya, masing-masing jalur memiliki karakteristik hidraulik yang berbeda sehingga berpotensi menghasilkan nilai *pressure drop* yang tidak sama pada setiap titik pemakaian.

Dalam penelitian ini, sistem rumah gas dipandang sebagai objek teknik yang terdiri atas beberapa jalur distribusi independen. Setiap jalur distribusi dijadikan satu unit observasi dengan karakteristik yang meliputi panjang jalur perpipaan, jumlah *fitting*, tekanan pada sisi keluaran manifold (*inlet pressure*), tekanan pada titik pemakaian (*outlet pressure*), serta nilai *pressure drop*. Pendekatan ini memungkinkan pengukuran dilakukan secara langsung pada kondisi operasional tanpa mengubah konfigurasi sistem yang telah ada.

Secara organisasi, pengelolaan sistem rumah gas di Laboratorium X umumnya berada di bawah tanggung jawab unit laboratorium atau bagian utilitas yang bertugas mengelola penyediaan gas, melakukan inspeksi berkala terhadap

tabung dan regulator, memantau kondisi jaringan perpipaan, serta memastikan sistem distribusi beroperasi sesuai prosedur keselamatan kerja. Pemeriksaan rutin biasanya mencakup pengecekan tekanan tabung, kondisi regulator, kebocoran sambungan, fungsi katup, dan kelayakan jaringan perpipaan. Kegiatan tersebut bertujuan menjaga kontinuitas distribusi gas sekaligus mengurangi risiko gangguan operasional.

Dalam konteks penelitian ini, Laboratorium X dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki sistem rumah gas yang telah beroperasi dan melayani beberapa titik pemakaian melalui jaringan perpipaan dengan konfigurasi yang bervariasi. Variasi panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* pada setiap cabang distribusi memberikan kondisi yang sesuai untuk mengkaji hubungan kedua variabel tersebut terhadap *pressure drop*. Selain itu, sistem yang telah beroperasi memungkinkan penelitian dilakukan melalui pengukuran langsung tanpa memerlukan modifikasi instalasi maupun simulasi numerik sehingga data yang diperoleh merepresentasikan kondisi operasional aktual.

Objek penelitian ini dibatasi pada jaringan distribusi gas mulai dari sisi keluaran manifold hingga titik pemakaian di Laboratorium X. Penelitian tidak mencakup proses produksi gas, pengisian tabung, maupun evaluasi kualitas gas yang digunakan. Fokus penelitian diarahkan pada karakteristik fisik jaringan perpipaan dan distribusi tekanan sebagai dasar untuk memahami pengaruh panjang jalur perpipaan dan jumlah *fitting* terhadap *pressure drop* pada sistem rumah gas multi-lini.