

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

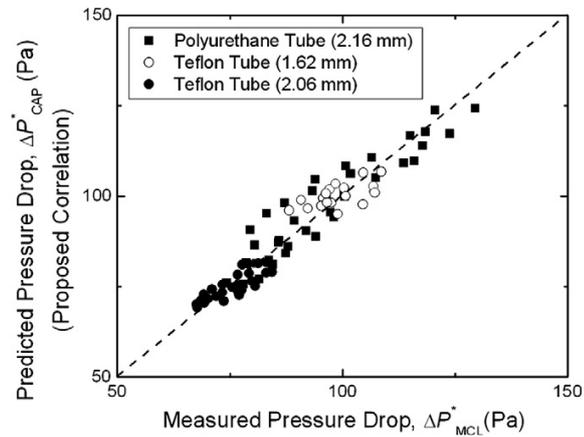
2.1 Tinjauan Penelitian

Fukano & Akira Kariyasaki (1993) meneliti tentang karakteristik aliran dua fase gas-air pada pipa kapiler dengan diameter 1 mm, 2.4 mm dan 4.9 mm. Penelitian ini menginvestigasi dengan memperhatikan pada pola aliran, variasi waktu fraksi hampa dan penurunan tekanan. Semakin kecil diameter dalam pipa, maka penurunan tekanan menjadi semakin besar.

Ali dkk. (1993) menunjukkan data penelitian penurunan tekanan dalam bentuk faktor gesekan satu fase maupun dua fase. Dalam satu fase dapat dilihat nilai penurunan tekanan sangat dipengaruhi oleh faktor gesekan. Pada diagram *Moody* juga menunjukkan hubungan data antara faktor gesekan terhadap bilangan *Reynolds*.

Lee dan Lee (2010) menunjukkan hasil penelitian penurunan tekanan aliran *plug* kering dua fase dalam saluran pipa mini. Percobaan ini dilakukan dengan kondisi kering pada permukaan saluran mini bagian gas. Saluran pipa terbuat dari bahan poliester dan teflon. Cairan antara campuran dari udara-air mengalir pada pipa dengan masing-masing berdiameter 1.62 dan 2,16 (mm). Dari pengujian yang dilakukan menampilkan bahwa penurunan tekanan lebih besar dan kecepatan *superfisial liquid* meningkat atau dengan dikurangnya kecepatan *superfisial gas* dari meningkat banyaknya jumlah jalur gesek pada bagian uji yang bergerak.

Penurunan tekanan terukur dari *plug* cair dari korelasi sesuai data eksperimen dalam *mean deviasi* sebesar 4%. Berikut ditampilkan pada gambar 2.1.

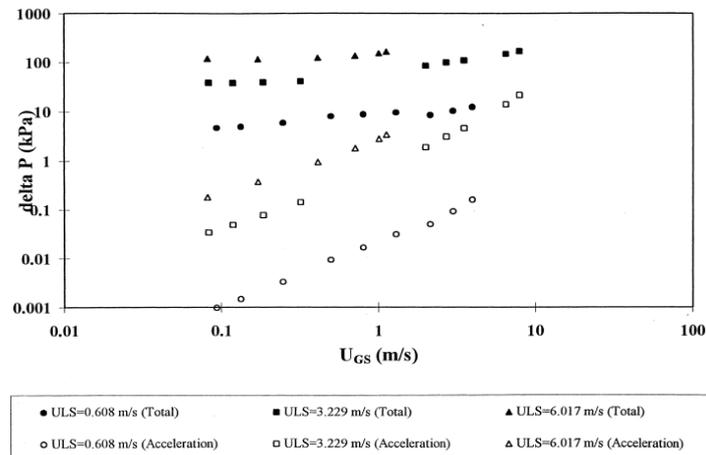


Gambar 2.1 Perbandingan antara penurunan tekanan terukur dan yang diperkirakan dari *plug* cair (Lee dan Lee, 2010)

Pengujian memprediksi adanya penurunan tekanan dalam pipa mini dengan modifikasi analisis sudut kontak dinamis yang menggunakan pertimbangan disipasi energi terhadap jalur kontak bergerak dengan rata-rata dari data deviasi sebesar 4%.

Aliran dua fase pernah dilakukan penelitian oleh Triplett dkk. (1999) berkonsentrasi tentang fraksi hampa dan gradien tekanan (*pressure gradient*) pada pipa mikro yang terjadi gesekan pada aliran dua fase. Ukuran dari pipa mikro dengan diameter 1,1 (mm) dan 1,45 (mm) berkecepatan *superfisial* gas sebesar 0,02-80 (m/s) dan *superfisial liquid* sebesar 0,02-8 (m/s). Pengujian tersebut menggunakan bahan campuran dari udara-air. Dari korelasi yang digunakan menghasilkan data signifikan untuk tekanan gesekan yang menurun dari aliran homogen karena aliran anular yang didapatkan

Penurunan tekanan nilai terukur dan penurunan tekanan dihitung dengan asumsi aliran homogen digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perbandingan nilai terukur (total) dengan nilai perhitungan dengan asumsi aliran homogen (akselerasi) (Triplett., 1999)

Macchi dkk. (2011) melakukan ulasan tentang fase tunggal dan dua fase terhadap penurunan tekanan diserpentine saluran mini. Ketidaksamaan dalam geometri serpentine saluran mini pada tekanan fase tunggal dan dua fase dilakukan pengkajian terhadap penurunan tekanan dari efek pola aliran dari jari-jari kelengkungan. Penyebab terjadi adanya gesekan pada aliran fase tunggal sebanding sesuai dengan literatur pada saat melalui saluran mini. Perubahan dari aliran dua fase tunggal terhadap aliran dua fase mengalami perpanjangan hasil sehingga diperlukan korelasi empiris saat penurunan tekanan pada konfigurasi lurus dan serpentin. Identifikasi terhadap wilayah serpentin dengan karakteristik gradien tekanan terjadi perbedaan antara pola aliran dan luas transformasi gelembung.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian aliran dua fase oleh Hassan dkk. (2006) meneliti secara experimental tentang penurunan tekanan aliran dua fase dalam saluran pipa mini berukuran milimeter. Pada percobaan ini digunakan tiga model meliputi *homogen*, model *friedel* dan model *chisholm*. Gradien tekanan akibat gesekan aliran dua fase dilakukan pada diameter pipa 3 mm, 1 mm dan 0,8 mm menunjukkan hasil yang berbeda antara hasil percobaan pengujian dengan

kerelasi pengujian sebelumnya oleh Ekberg (1997). Aliran bergelembung, *intermiten*, *churn* dan *anular* merupakan aliran yang dipengaruhi oleh tegangan permukaan dan aliran dengan pengaruh inersia.

Saisorn dan Wongwises (2008) meneliti tentang karakteristik aliran udara-air, termasuk pola aliran dua fase, fraksi hampa, dan *pressure drop*. Penelitian tersebut dilakukan menggunakan saluran melingkar berbahan silika leburan dengan panjang 320 mm dan memiliki diameter dalam 0,53 mm. Pengujian ini dilakukan dengan kecepatan *superfisial* gas dan cairan berkisar 0,37-16 dan 0,005-3,03 (m/s). Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan menyelidiki karakteristik aliran dua fase aliran gas-cair penurunan tekanan total melalui saluran mikro melingkar horizontal dengan diameter 0,53 mm.

Penurunan tekanan total dituliskan pada persamaan berikut:

$$\Delta P_{\text{exp}} = \Delta P_f + \Delta P_a + \Delta P_c,$$

Dengan ΔP_f adalah penurunan tekanan akibat gesekan, ΔP_a penurunan tekanan karena percepatan dan ΔP_c merupakan penurunan tekanan karena kontraksi secara tiba-tiba. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan komponen lainnya pada kondisi aliran yang berbeda, mendapatkan hasil penurunan tekanan akibat gesekan mendominasi penurunan tekanan akibat adanya percepatan dan kontraksi secara tiba-tiba. Penurunan tekanan akibat gesekan sebagai fungsi dari kecepatan *superfisial* gas (J_G) dan *superfisial liquid* (J_L). Hal ini menjelaskan bahwa nilai penurunan tekanan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan *superfisial* gas (J_G) maupun *superfisial liquid* (J_L).

Saidi dkk. (2011) mengatakan dengan hasil dari percobaan investigasi bahwa didapatkan adanya penurunan tekanan total dari aliran dua fase dengan penguraian menjadi penurunan tekanan gesekan serta diatas gelembung dari aliran terdapat adanya penurunan. Alat yang digunakan untuk pengamatan pada aliran kecepatan tinggi adalah perekam video, dalam pipa kapiler berdiameter 2, 3 dan 4 mm dan panjang 27, 31 dan 25 cm.

Awaludin dkk. (2014) melakukan penelitian tentang analisis aliran dua fase udara-air pada belokan 45° dengan posisi horizontal kearah atas dengan diameter pipa 26,64 mm menunjukkan bahwa terjadi perbedaan *pressure drop*

eksperimental dan teoritis disebabkan karena perhitungan secara teoritis menggunakan beberapa asumsi tidak memperhitungkan keadaan dilapangan misalnya sambungan pipa, belokan pipa dan kerugian aliran lainnya. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa penurunan aliran dua fase melalui belokan 45° mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya gas volume *fraction* (β).

Barreto dkk. (2015) melakukan penelitian dengan fluida adiabotik udara-air pada pipa melingkar arus keatas dengan diameter 1,2 mm. Pada penelitian ini dengan kecepatan *superfisial* gas (J_G) = 0,1-34,8 m/s dan kecepatan *superfisial liquid* (J_L) = 0,1-3,5 m/s. Korelasi pada tabung kecil dengan udara-air menunjukkan data prediksi penurunan tekanan terbaik pada pola anular dengan kecepatan *superfisial* gas lebih dari 18,6 m/s.

Abubakar et al.(2015) mengatakan bahwa gradien tekanan akan meningkat seiring dengan peningkatan viskositas campuran. Pada aliran satu fase *pressure drop* hanya dipengaruhi oleh *Reynold number* yang merupakan fungsi dari viskositas, berat jenis fluida dan diameter pipa. Namun pada aliran multifase tidak hanya dipengaruhi oleh *Reynold number* saja tetapi juga dipengaruhi oleh fase-fase yang bercampur didalamnya.

Kecepatan *superfisial* gas/air dan viskositas cairan selain berpengaruh terhadap penelitian gradien tekanan juga berpengaruh pada penelitian dua fase pola aliran, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Sukamta dkk. (2019) yang menggunakan kaca mini berdiameter 1,6 mm dan panjang 130 mm dengan kemiringan 30°. Fluida yang digunakan adalah udara-air+gliserin dengan konsentrasi 40%, 50%, 60% dan 70%. Kecepatan *superfisial* cair $J_L = 0,033 - 4,935$ m/s dan kecepatan *superfisial* $J_G = 0,025 - 66,3$ m/s. Kamera berkecepatan tinggi digunakan untuk memvisualkan pola aliran. Hasilnya dapat disimpulkan bahwa *superfisial* gas/air dan viskositas cairan berpengaruh secara signifikan untuk membentuk pola aliran.

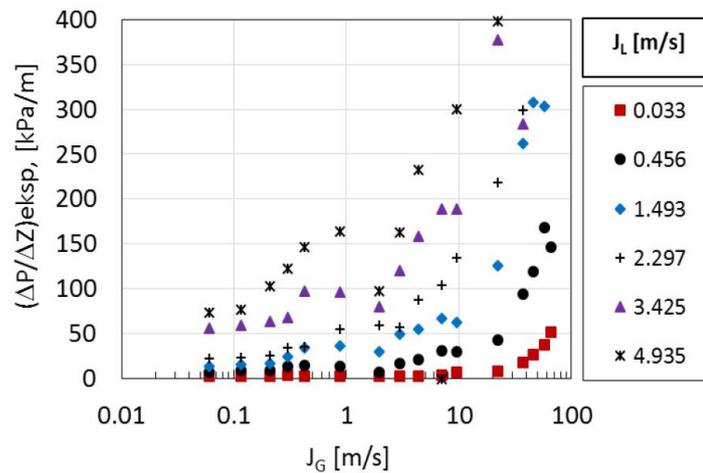
Penelitian dua fase gradien tekanan arus-gas-cair dalam saluran mini pernah dilakukan Sudarja dkk. (2019), bagian ujinya adalah saluran melingkar transparan dengan diameter 1,6 mm. Cairan yang bekerja adalah udara dan air dengan kecepatan *superfisial* gas dan cair, masing-masing di kisaran 0,025-66,300 m/s

dan 0,033-4,935 m/s. Gradien tekanan diperoleh dengan menggunakan transduser tekanan masing-masing. Akibatnya ditemukan bahwa kecepatan gas dan cairan *superfisial* mempengaruhi proposional dengan gradien tekanan, sedangkan itu meningkat dengan meningkatnya J_G dan J_L .

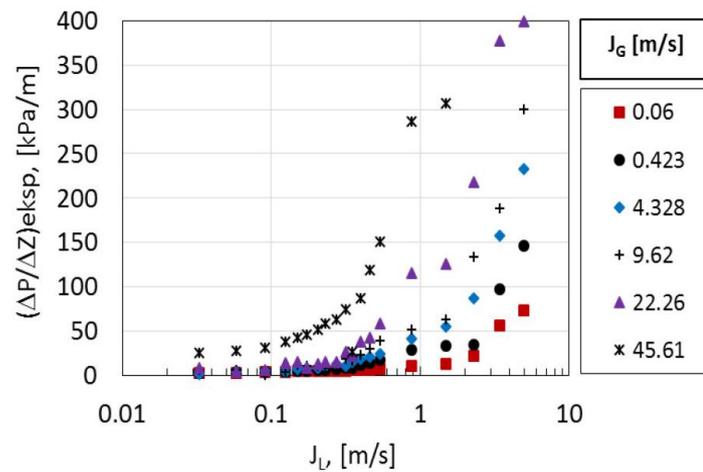
Sebelumnya juga pernah dilakukan penelitian oleh Sudarja dkk. (2014) melakukan suatu investigasi penelitian pada pola aliran dua fase gas cairan dengan berukuran pipa mini horizontal. Beberapa saluran seperti saluran mini, kapiler, mikro dan nano memiliki karakteristik yang berbeda antara aliran dua fase dengan pipa kecil dan pipa saluran konvensional. Perubahan zat cair-gas (fase) dan proses sistem air-gas yang mengalir (hidrodinamik) aliran dua fase tidak berlaku untuk saluran pipa kecil terhadap literatur-literatur yang berhubungan dengan terjadinya *pressure drop* serta perpindahan kalor. Maka dari itu dibutuhkan pengkajian dan investigasi pada pola aliran dua fase cairan dan gas dengan pipa mini. Dengan dilakukannya percobaan pengujian terhadap pola aliran dan peta aliran pada pipa mini bertujuan agar didapatkan data primer dari pola dan peta aliran. Diameter dari seksi uji sebesar 1,6 (mm) berbentuk pipa kaca kapiler dengan posisi horizontal bercampuran antara gas dan cairan dengan udara kering dan air memiliki kecepatan *superfisial* gas (J_G) = 0,08-64,42 (m/s) dan kecepatan *superfisial liquid* (J_L) = 0,02-3,09 (m/s). Hasil yang didapat dari penelitian terhadap pola aliran yaitu berupa *slug*, *slug anular*, *anular*, *wavy anular*, *churn* dan *bubbly* mengindikasikan hasil tersebut paling mendekati kemiripan terhadap penelitian peta yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999a).

Kemudian penelitian investigasi berlanjut dilakukan oleh Sudarja dkk. (2016) untuk gradien tekan pada aliran dua fase udara campuran air dan gleserin 20% dalam pipa berdiameter 1,6 mm posisi horizontal. Kecepatan *superfisial* gas dan rentang 0,025-66,3 (m/s), sedangkan kecepatan *superfisial* pada cairan 0,033-4,935 (m/s), data hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan prediksi pada model homogen dan model terpisah mendapatkan kesimpulan bahwa kecepatan *superfisial* gas maupun kecepatan *superfisial* cairan mempengaruhi besarnya gradien tekanan secara signifikan. Semakin besar kecepatan *superfisial* gas ataupun cairan, semakin besar gradien tekanan. Semakin

tinggi nilai J_G yang digunakan maka akan didapatkan peningkatan nilai dari gradien tekanan dan semakin tinggi nilai J_L yang digunakan maka akan didapat pula kenaikan nilai dari gradien tekanan.



Gambar 2.3 Efek J_G terhadap nilai *pressure gradient* setiap variasi J_L (Sudarja dkk. 2016)



Gambar 2.4 Efek J_L terhadap nilai *pressure gradient* setiap variasi J_G (Sudarja dkk.2016)

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Teori Umum Aliran Dua Fase

Aliran dua fase merupakan aliran multifase yang paling sederhana. Aliran dua fase adalah aliran yang terdiri dari beberapa campuran yaitu campuran padat, campuran cair dan campuran gas/udara. Pada aliran dua fase mempunyai parameter dasar yang meliputi pola aliran, peta pola aliran, fraksi hampa dan gradien tekanan (*pressure gradient*). Menganalisa aliran gas-cair bisa dilakukan dengan dua metode yaitu model aliran homogen (*homogenous flow*) dan model aliran terpisah (*separated flow*). Metode model homogen merupakan metode yang paling mudah untuk menganalisa aliran dua fase. Aliran campuran diperlukan sebagai aliran tunggal termasuk persamaan kontinuitas, energi dan momentum. Model *separated flow* mempunyai properti dan kecepatan yang berbeda.

2.2.2 Gleserin

Gleserin adalah senyawa gliserida yang paling sederhana, dengan hidroksil yang bersifat hidrofilik dan higroskopik. Gliserin adalah senyawa yang beracun dan komponen yang menyusun berbagai macam lipid seperti trigliserida. Senyawa ini bersifat kental, tidak berwarna, tidak berbau, banyak digunakan dalam formulasi dan manis. Gliserin sangat mudah larut didalam alkohol dan air, sehingga sangat bagus apabila digunakan untuk memvariasikan larutan gliserin-air dengan berbagai nilai dari viskositas cairan.

2.2.3 Viskositas Fluida

Kekentalan (viskositas) merupakan tahanan internal terhadap aliran, beberapa ahli mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan merupakan nilai nilai yang didapat dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*).

Fluida ideal merupakan fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser yang diterima fluida sendiri. Sedangkan viskositas fluida merupakan dimensi dari besarnya kemampuan untuk menahan atau menghambat suatu aliran terhadap perubahan bentuk, dimensi dan posisi terhadap tegangan yang diterima, yaitu tegangan geser dan tarik. Dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa nilai viskositas dari fluida yang semakin tinggi akan mempengaruhi dari laju gerak fluida tersebut. Sedangkan untuk nilai viskositas fluida yang semakin kecil maka laju gerak fluida akan menjadi lebih mudah.

2.2.4 Tinjauan Fase

Fase adalah suatu keadaan zat yang berupa gas, cair dan padat atau sistem yang dilengkapi oleh batas dan mempunyai kesamaan jenis kimia dan fisika. Suatu sistem atau komposisi dengan bagian daerah sama terhadap kandungan cairan dan uap yang dimilikinya. Pada fase uap untuk semua bagian kerapatan uapnya bersifat serba sama, demikian pula dengan kerapatan pada fase cair bersifat serba sama, namun untuk nilai kerapatan antara keduanya uap dan cair berbeda.

Kombinasi yang berbentuk dari struktur gas memiliki sifat fase tunggal terhadap kesetimbangan yang dikarenakan gas beracun sebagai homogen. Proses perubahan fase dari gas menjadi padat, fase cair menjadi gas dan fase padat menjadi cair atau masing-masing sebaliknya terjadi fenomena dimana akan saling mendapatkan atau melepaskan energi. Jarak dan susunan antara molekul yang paling tidak beraturan dan acak karena selalu bergerak adalah fase dari gas sementara untuk fase cair bersifat jarak tiap molekulnya besar dan jauh.

2.2.5 Pressure Drop Aliran Dua Fase

Pressure drop adalah penurunan tekanan didalam sistem pada satu titik ketitik lain dengan tekanan yang lebih rendah. *Pressure drop* pada aliran dua fase diistilahkan sebagai gradien tekan yaitu perubahan/penurunan tekanan yang terjadi setiap panjang pipa aliran. Penurunan tekanan sering terjadi pada pipa aliran fluida pada aliran dua fase dari dua titik berbeda dalam satu sistem yang sama dikarenakan adanya perbedaan tekanan dari yang tinggi ke yang lebih rendah. Pengaruh terbesar dari perubahan tekanan pada aliran/fluida adalah nilai *specify gravity* dari sifat fluida yang digunakan. Variasi energi kinetik dan energi potensial suatu aliran mengakibatkan terjadinya *pressure drop* total. Berikut ini adalah persamaan dari ΔP_{total} .

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{static}} + \Delta P_{\text{mom}} + \Delta P_{\text{frict}} \quad (2.1)$$

Pressure drop static homogen pada fluida aliran dua fase :

$$\Delta P_{\text{static}} = \rho_H g H \sin \theta \quad (2.2)$$

Nilai dari ketinggian vertikal dilambungkan dengan H, sudut dengan sumbu horizontal dengan simbol θ , kemudian kepadatan homogen dengan simbol ρ_H :

$$\rho_H = \rho_L (1 - \varepsilon_H) + \rho_G \varepsilon_H \quad (2.3)$$

Persamaan nilai x terhadap fraksi hampa homogen, cairan dan gas masing-masing dengan simbol ε_H , ρ_L , ρ_G :

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_G(1-x)\rho_G}{u_L x \rho_L} \right)} \quad (2.4)$$

Persamaan momentum *pressure gradien* per satuan panjang tabung, dengan simbol untuk *ratio* kecepatan yaitu u_G/u_L :

$$\left(\frac{dp}{dz} \right)_{\text{mom}} = \frac{d(\dot{m}_{\text{total}}/\rho_H)}{dz} \quad (2.5)$$

Persamaan suatu aliran stabil terhadap luas penampang konstan. Dengan penurunan tekanan dengan fungsi dari faktor gesekan yang simbolnya ialah (f_{tp}) :

$$\Delta P_{\text{frict}} = \frac{2f_{tp}L\dot{m}_{\text{total}}^2}{d_i\rho_{tp}} \quad (2.6)$$

Berikut ini bilangan *reynolds* pada persamaan *blasius* untuk faktor gesekan yaitu :

$$f_{tp} = \frac{0,079}{Re^{0,25}} \quad (2.7)$$

Bilangan *reynolds* :

$$Re = \frac{\dot{m}_{\text{total}}d_i}{\mu_{tp}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

Re = Bilangan *reynolds*

\dot{m}_{total} = Total kecepatan massa

d_i = Diameter pipa

μ_{tp} = Kualitas rata-rata viskositas

2.2.6 Kecepatan Aliran

Kecepatan *superfisial* merupakan suatu rasio laju aliran *liquid* atau gas seluas dari seluruh area melintang. Terdapat 3 macam jenis sifat dari suatu kecepatan *superfisial* meliputi *superfisial* campuran, *liquid* dan gas dengan simbol masing-masing dari campuran atau sebagai dari penjumlahan terhadap kecepatan *superfisial* antara *liquid* gas yaitu VM atau JM, kemudian simbol VSL untuk cairan (JL), simbol VSG untuk gas (JG).

1. *Liquid Superficial Velocity* (JL)

$$J_L = \frac{Q_L}{A} \quad (2.9)$$

2. *Gas Superficial Velocity* (JG)

$$J_G = \frac{Q_G}{A} \quad (2.10)$$

Keterangan :

J_L = Kecepatan *superfisial* cairan (m/s)

J_G = Kecepatan *superfisial* gas (m/s)

Q_L = Debit aliran cairan pada pipa (m³/s)

Q_G = Debit aliran gas pada pipa (m³/s)

A = Luas area penampang pipa (m²)

2.2.7 Pengukuran Perbedaan Tekanan

MPX dan Arduino dengan tipe MPX-5700DP merupakan alat yang digunakan untuk pengujian aliran dua fase. MPX berfungsi untuk mengetahui perbedaan tekanan antara sisi masuk dan keluar pada seksi uji. MPX dihubungkan pada arduino untuk menampilkan sinyal supaya data dapat terekam oleh komputer lalu data tersebut kemudian diolah dengan hasil yang didapat berupa grafik menggunakan *microsoft excel*.