

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan pada proses penelitian berupa fluida gas dan fluida cair. Untuk fluida gas digunakan udara dengan kelembaban rendah, yang didapatkan dari kompresor udara berkapasitas kecil dan dilengkapi dengan *water trap* dan *dryer*, sedangkan untuk fluida cair digunakan akuades untuk penelitian tahap pertama, sedangkan untuk penelitian tahap kedua, digunakan campuran antara akuades dan gliserin dengan berbagai variasi viskositas, yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30% yang dicampurkan ke dalam sistem dengan bantuan bejana bertekanan (tangki bertekanan). Sifat fisik udara yang digunakan adalah sebagai berikut:

(pada kondisi temperatur kamar, yaitu 27°C, dan tekanan 1 atmosfer):

| | |
|--------------------------------|--|
| Massa jenis (ρ) | : 1,163 kg/m ³ . |
| Viskositas dinamik (μ) | : 1,8573 x 10 ⁻⁵ kg/(m.s) |
| Viskositas kinematik (ν) | : 1,597 x 10 ⁻⁵ m ² /s |

Tabel 3.1. Sifat fisik cairan

| Fluida | <i>Specific gravity</i> | <i>Kinematic viscosity</i> [mm ² /s] | <i>Surface Tension</i> [mN/m] | <i>Index</i> |
|------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|--------------|
| Akuades | 1,0021 | 0,842 | 71,033 | A |
| Akuades + 10% gliserin | 1,0358 | 1,331 | 67,966 | GL10 |
| Akuades + 20% gliserin | 1,0619 | 2,315 | 61,566 | GL20 |
| Akuades + 30% gliserin | 1,0839 | 2,361 | 60,866 | GL30 |

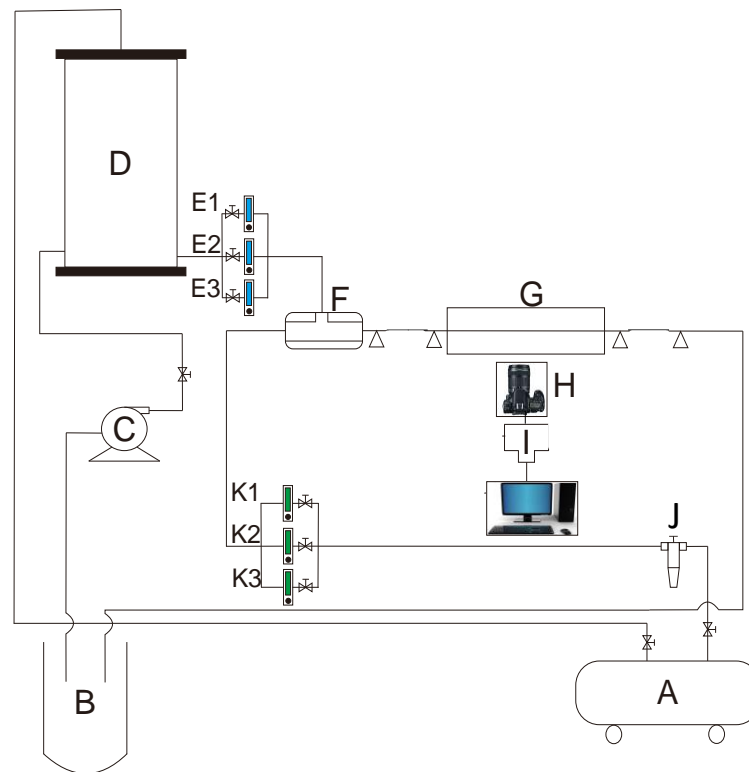
3.2 Alat Penelitian

Seksi uji berupa pipa transparan yang diletakan diatas meja kayu yang terbuat dari bahan gelas (kaca) berpenampang *acrylic* dengan diameter dalam 1,6 mm dengan panjang 1000 mm yang digunakan untuk fluida cair berupa akuades ditambah gliserin. Fluida cair dipompa ke dalam bejana tekan (tangki bertekanan), kemudian dialirkan melewati *flowmeter* cair. Fluida gas yang berasal dari kompresor kemudian dialirkan melewati *flowmeter* udara. Seksi uji dilengkapi dengan sebuah *optical correction box* yang berfungsi untuk menghilangkan efek cembung dari permukaan dinding pipa yang nantinya akan diambil gambar pola aliran berdasarkan variasi nilai kecepatan superfisial gas (J_G) dan kecepatan superfisial cair (J_L). *Mixer* yang digunakan adalah tipe *mixing chamber* dengan dua saluran masuk (saling tegak lurus) dan satu saluran keluar.

Kompresor udara berfungsi menyediakan udara bertekanan. Kompresor udara dilengkapi dengan *water trap* dan *air dryer* untuk menjamin bahwa udara yang masuk ke dalam sistem adalah udara kering bertekanan tanpa kandungan air. Bejana tekan (tangki bertekanan) yang terbuat dari bahan baja anti karat, digunakan sebagai pompa pneumatik, untuk mengalirkan cairan masuk ke dalam *mixer* tanpa dipompa, dengan tujuan menghindari efek pulsasi (minim getaran).

Untuk mengukur beda tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar dari seksi uji digunakan *differential pressure transducer* dari *validyne* dengan akurasi $\pm 0,1-0,25$ % dengan *range* 3200 psi. *Differential pressure transducers* dihubungkan dan dipasang pada sisi masuk (*inlet*) dan sisi keluar (*outlet*) seksi uji.

Instalasi peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 terdiri dari komponen utama: penampung fluida cair, pompa air, kompresor udara, bejana bertekanan, *test section*, *watertrap*, *mixer*, dan konektor. Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *optical correction box*, kamera, komputer, dan *acquisition system*. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian, antara lain: *flowmeter* cair, *flowmeter* udara, *pressure indicator*, dan *pressure transducer*.



Gambar 3.1. Skema instalasi penelitian

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| A. Kompresor | G. Seksi uji |
| B. Penampung fluida cair | H. Kamera |
| C. Pompa air | I. Komputer / laptop |
| D. Tangki bertekanan | J. Watertrap |
| E. <i>Flowmeter</i> cair | K. <i>Flowmeter</i> udara |
| F. <i>Mixer</i> | |

Untuk pengambilan gambar video aliran, digunakan kamera berkecepatan tinggi merk Nikon tipe J4, dengan kecepatan 1200 fps dan resolusi 640 x 480 pixel. Akuisisi data dari “*National Instrument*” digunakan untuk mengkonversi data dari analog menjadi digital, agar dapat direkam, disimpan, diolah, dan dianalisis pada komputer. Kondisi penelitian adalah adiabatik. Eksperimen dilakukan pada kecepatan superfisial gas (J_G) dengan interval 0,025 – 66,3 m/s, dan kecepatan superfisial cairan (J_L) dengan interval 0,033 – 4,935 m/s.

3.2.1 Aliran Fluida Cair

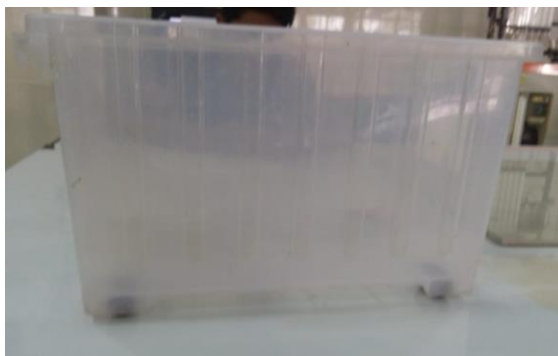
Peralatan yang digunakan untuk mengalirkan campuran antara akuades dan gliserin selama proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Pompa pada Gambar 3.2 mempunyai spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Merek : Lion Water Pump (L-107)
 - b. Tipe : L-107
 - c. Daya : 120 Watt
 - d. Voltase : 220-240 V
 - e. Kapasitas maksimum : 5500 L/H



Gambar 3.2. *Water pump*

2. Selang untuk mengalirkan air dari tangki penyimpanan bertekanan hingga menuju pipa saluran.
3. Penampung fluida cair yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 ini digunakan untuk menampung campuran akuades dan gliserin yang dipompakan ke bejana tekan dan digunakan untuk menampung setelah melewati seksi uji.



Gambar 3.3. Penampung fluida cair

4. Tangki bertekanan yang terbuat dari *stainless steel* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.4.

- a. Diameter : 22 cm
- b. Tinggi : 100 cm
- c. Tebal plat : 0,4 cm
- d. Volume : 38 Liter



Gambar 3.4. Tangki bertekanan

5. Tiga buah *flowmeter* untuk mengatur debit air yang masing-masing *flowmeter* mempunyai kisaran maksimal 500 mL/menit, 1000 mL/menit, dan 1 GPM dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.5. *Flowmeter* cair (a) kapasitas 0 – 50 mL/menit, (b) kapasitas 100 – 500 mL/menit, dan (c) kapasitas 0,1 – 1 GPM

6. Katup aliran berjenis *ball valve* yang berfungsi untuk mengatur aliran fluida cair yang masuk kedalam *flowmeter* cair

3.2.2 Aliran Fluida Gas

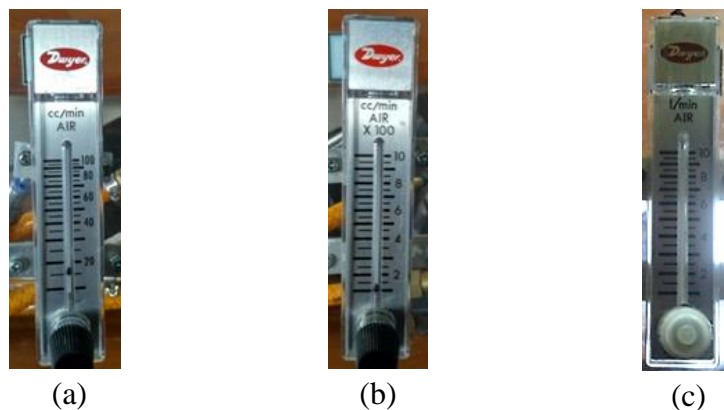
Peralatan yang digunakan untuk mengalirkan udara selama proses pengujian adalah sebagai berikut:

1. Kompresor pada Gambar 3.6 untuk mengalirkan udara dengan spesifikasi berikut:
 - a. Merk : Shark
 - b. Type : LVU-012
 - c. Motor : ½ HP
 - d. Pressure Range : 7 kg/cm²
 - e. Pabrikan : PT.SHARPINDO DINAMIKA PRIMA



Gambar 3.6. Kompresor

2. Selang untuk mengalirkan fluida gas dari kompresor ke *flowmeter* gas hingga ke saluran pipa.
3. Tiga buah *flowmeter* yang berfungsi untuk mengatur debit udara yang memiliki kisaran nilai maksimal. Ketiga *flowmeter* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Flowmeter* udara (a) kapasitas 0-100 cc/menit (b) kapasitas 100-1000 cc/menit (c) kapasitas 1-10 liter/menit

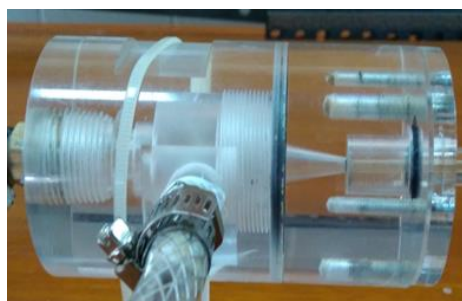
4. Katup udara yang berfungsi untuk membuka dan menutup aliran gliserin yang akan masuk ke *flowmeter* gas.

3.2.3 Peralatan Uji

Seksi uji (*test section*) merupakan pipa transparan berpenampang lingkaran terbuat dari bahan kaca (*glass*). Pipa yang digunakan berdiameter 1,6 mm dengan panjang 160 mm (jarak antara *inlet* dan *outlet*). *Test section* dipasang horizontal dan pada ujung-ujungnya dihubungkan dengan konektor. Peralatan yang digunakan dalam seksi uji adalah sebagai berikut :

1. *Mixer*

Mixer berfungsi sebagai media tempat bercampurnya fluida cair dan gas. Air masuk dengan arah aksial sedangkan udara masuk dengan arah radial yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. *Mixer*

2. Pipa Kaca

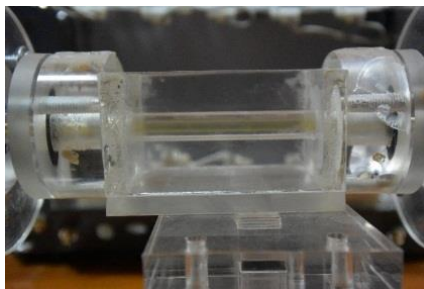
Pipa yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai diameter dalam sebesar 1,6 mm dan diameter luar sebesar 8 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Pipa Kaca

3. Test Section

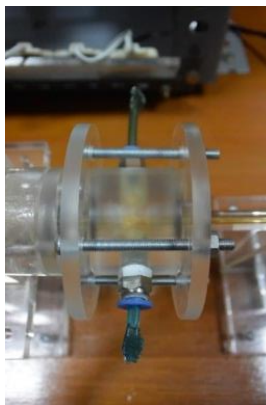
Pada Gambar 3.10 alat yang digunakan dalam seksi uji ini berupa pipa yang terbuat dari kaca berdiameter 1,6 mm dan panjang 160 mm yang bagian tengahnya dilindungi oleh *acrylic*



Gambar 3.10. Test section

4. Konektor

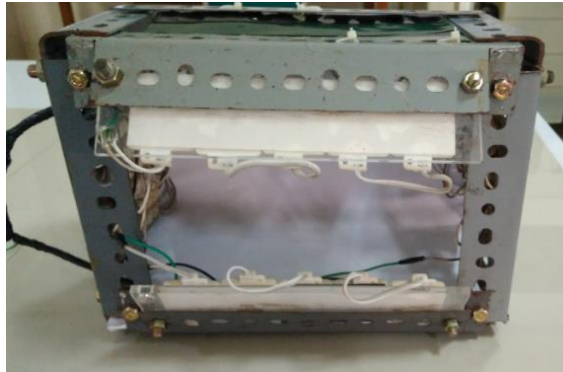
Gambar 3.11 menunjukkan konektor sambungan pipa *acrylic*. Berfungsi untuk menyambung pipa *acrylic*. konektor sambungan pipa *acrylic* ini terbuat dari bahan *acrylic*.



Gambar 3.11 Konektor

5. Lampu Penerangan

Merupakan alat tambahan yang digunakan untuk meningkatkan intensitas cahaya pada alat perekam dan untuk memperjelas pola aliran yang terjadi pada seksi uji. Lampu yang digunakan adalah lampu LED putih dengan daya 500 watt.



Gambar 3.12. Lampu penerangan

Pada Gambar 3.12 lampu yang digunakan adalah lampu LED dengan daya 500 watt. Lampu ini digunakan untuk meningkat intensitas cahaya pada alat perekam dan untuk memperjelas pola aliran data pengambilan data.

6. *Optical Correction Box*

Optical Correction Box digunakan agar gambar yang diambil tidak terkena efek pembiasan yang disebabkan oleh permukaan pipa.

3.2.4 Peralatan Pengambilan Gambar

Peralatan pada Gambar 3.13. yang digunakan untuk pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Kamera video Nikon J4 yang digunakan untuk pengamatan pola aliran dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - a. ISO sensivity : 1600
 - b. Aperture : 1/1250
 - c. Shutter speed : F6.3
 - d. Kecepatan perekaman : 1200 fps



Gambar 3.13. Kamera Nikon J4

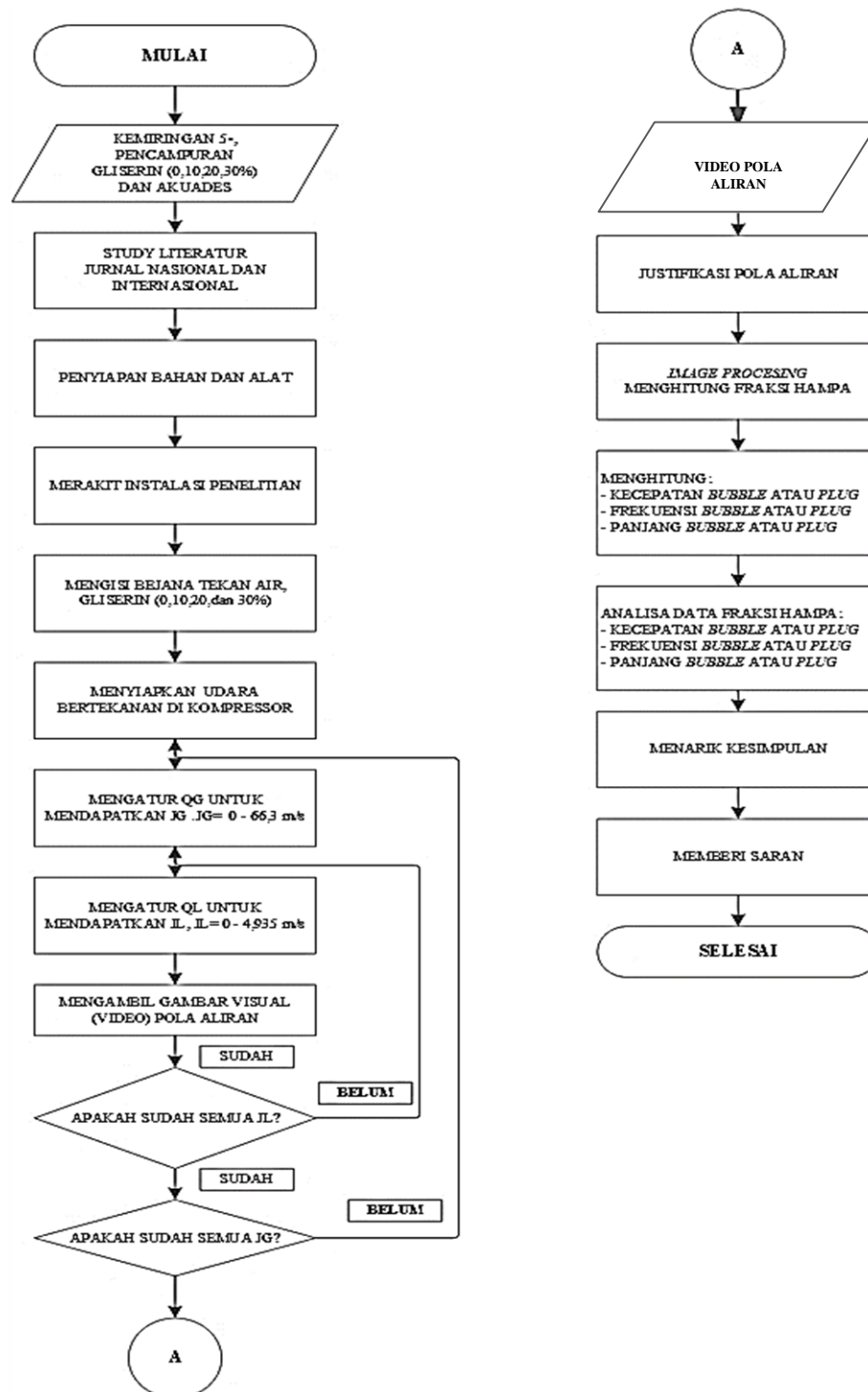
2. Sumber tegangan arus tetap DC sampai dengan tegangan 1500 V dan arus 50 μA .
3. Laptop untuk mengolah dan menyimpan rekaman video hasil penelitian.
4. Tripod meletakkan kamera supaya gambar yang didapat tidak goyang atau kurang focus.

3.3 Kalibrasi Alat Ukur

1. *Pressure transducer* dikalibrasi menggunakan manometer vertikal (manometer kolom air) pada kondisi statis. Tegangan keluaran *pressure transducer* dikonversi ke tekanan yang terukur pada manometer vertikal.
2. *Flowmeter* cair dikalibrasi dengan cara mengalirkan fluida cair dengan rentang waktu 1 menit dan dibandingkan antara *flowmeter* terukur dengan volume air yang berada pada gelas ukur berkapasitas 1000 mililiter sehingga didapatkan hasil nilai kalibrasi yang sesuai dengan hasil nilai aslinya. Pengukuran dengan *flowmeter* ditabelkan dan dibuat grafik, serta selanjutnya dibuat korelasi antara keduanya, sehingga didapatkan persamaan kalibrasi untuk *flowmeter* cair.

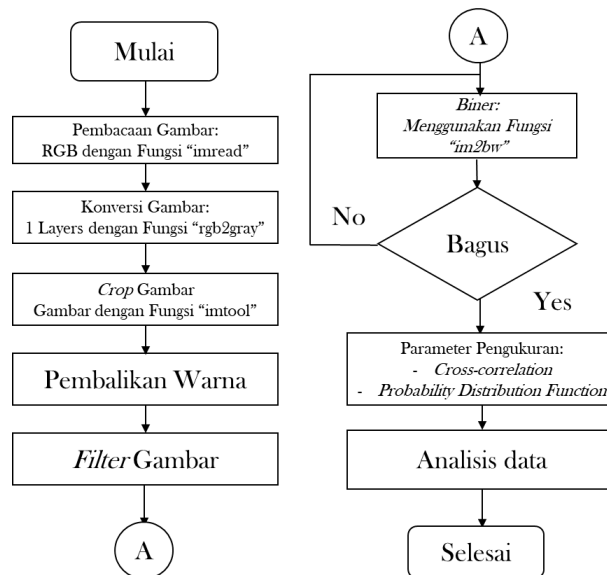
3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian aliran dua fasa dapat dilakukan dengan urutan seperti yang ditunjukkan diagram alir pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Diagram alir penelitian

Penelitian aliran dua fasa dapat dilakukan dengan menggunakan metode *digital image processing* seperti yang ditunjukkan diagram alir pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Diagram alir *image processing*

3.5 Jalannya Penelitian

Sebelum pengambilan data berlangsung, perlu terlebih dahulu melakukan kalibrasi alat ukur, terutama *differential pressure transducer*. *Pressure transducer* dikalibrasi menggunakan manometer vertikal (manometer kolom air) pada kondisi statis. Tegangan keluaran *pressure transducer* dikorelasikan dengan tekanan yang terukur pada manometer vertikal. Dari kalibrasi ini didapatkan persamaan kalibrasi yang nantinya digunakan dalam pengolahan data *pressure gradient*. *Flowmeter* cair dikalibrasi dengan cara mengalirkan fluida cair dengan rentang waktu 1 menit dan dibandingkan antara *flowmeter* terukur dengan volume air yang berada pada gelas ukur, walaupun sudah ada kalibrasi dari pabrik pembuatnya berupa tabel kalibrasi.

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dalam 4 tahap (atas dasar fluida kerjanya), yaitu: udara-akuades, udara-akuades + 10% gliserin, udara-akuades + 20% gliserin, dan udara-akuades + 30% gliserin. Penelitian yang menggunakan fluida kerja udara-air dilakukan dengan urutan seperti ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.14. Untuk fluida kerja udara-cair dengan

berbagai viskositas gliserin prosedur penelitiannya sama dengan Gambar 3.1, tetapi fluida cairnya menggunakan campuran akuades dan gliserin (Tabel 3.1).

3.6 Prosedur Pengambilan Data

Setelah instalasi dan bahan-bahan peneliatian disiapkan, serta alat-alat ukur sudah dikalibrasi, pengambilan data dapat dilakukan, dengan prosedur sebagai berikut:

1. Semua katup keluar dari bejana tekan dalam kondisi tertutup, sedangkan katup air dan udara masuk bejana tekan dibuka.
2. Katup udara keluar dari kompresor ke bejana tekan maupun ke *mixer* dalam kondisi tertutup.
3. Tangki air diisi dengan akuades. Pada waktu pengisian harus dilakukan penyaringan untuk memastikan tidak ada partikel padat yang ikut dalam fluida kerja, karena dapat mengganggu aliran.
4. Air dalam tangki tersebut selanjutnya dipompakan ke tangki bertekanan dengan pompa sentrifugal. Volume cairan dalam tangki bertekanan sekitar setengah volume tangki (sekitar 15 liter).
5. Udara bertekanan dari kompresor dialirkan ke tangki bertekanan hingga tekanan di dalam bejana tekan mencapai sekitar 5 bar *gage*.
6. Membuka perlahan-lahan katup cairan keluar dari tangki bertekanan, melewati *flowmeter* cairan yang sesuai, dengan debit Q_L sehingga didapatkan kecepatan superfisial cairan J_L tertentu yang cukup kecil.
7. Katup udara dari kompresor menuju *mixer* dibuka perlahan-lahan dengan debit Q_G kecil sehingga didapatkan kecepatan superfisial gas J_G kecil.
8. Merekam semua data yang didapatkan dari aliran dengan pasangan J_L dan J_G , yaitu gambar video pola aliran serta beda tekanan antara sisi masuk dan sisi keluar seksi uji.
9. Langkah 7 dan 8 dilakukan berulang kali untuk J_L tetap dan J_G naik dengan berangsur-angsur.
10. Langkah 7, 8, dan 9 dilakukan berulang kali untuk harga J_L yang lain (berangsur-angsur naik) sampai selesai (sesuai matriks penelitian).

11. Langkah 1 sampai 10 dilakukan untuk fluida yang lain, yaitu udara-campuran air dan gliserin dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, dan 30%.

Pada waktu pengambilan data, harus dikondisikan sedemikian rupa sehingga timbulnya “*noise*” dapat diminimalisir. Hal ini dilakukan dengan:

- a. Tidak boleh ada getaran yang ditimbulkan oleh peralatan-peralatan lain atau kegiatan lain, misalnya: kompresor, kipas angin, renovasi bangunan, dan sebagainya.
- b. Diusahakan untuk tidak menggunakan catu daya AC yang akan mempengaruhi proses berlangsungnya penelitian.

3.7 Pengolahan Data dan Analisa Hasil

Dari proses pengambilan data, didapatkan dua macam data, yaitu data *pressure drop* yang didapatkan dari *pressure transducer* dan data yang berupa *video image* dari kamera berkecepatan tinggi. Data yang berupa video, selanjutnya diolah untuk mendapatkan pola aliran dan fraksi hampa.

3.7.1 Data Visual untuk Fraksi Hampa

Data fraksi hampa aliran didapatkan dari *video image* yang diolah dengan teknik pengolahan citra (*image processing technique*) menggunakan *software* MATLAB R2014a. Algoritma yang digunakan adalah mengenali/mendeteksi bagian yang berupa fase gas maupun bagian yang berupa fase cair dengan cara mengubah sampel citra *Red Green Blue (RGB)* menjadi citra biner. Tahapan dalam pengolahan citra tersebut terdiri dari: membaca gambar RGB, *image conversion*, *image cropping*, *image complement*, *image filtering*, konversi ke biner, dan *data gathering*.

3.7.1.1 Membaca gambar

Setiap gambar yang dibaca oleh *software* MATLAB sebagai gambar (citra) *red*, *green*, dan *blue* (RGB) dengan menggunakan instruksi atau fungsi yang dimasukan adalah “*imread*”.

3.7.1.2 Image conversion

Setiap gambar berformat RGB (*3 matrix layers*) dikonversi menjadi gambar dengan format *grayscale* (*1 matrix layer*). Caranya adalah dengan menentukan *red layer* dalam *RGB image* dan menggunakannya sebagai *new matrix later (R layer)*. Fungsi yang digunakan adalah “*rgb2gray*”. *Grayscale image* memiliki *256 gray scale*, yaitu 0 (hitam) sampai 255 (putih).


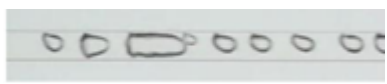

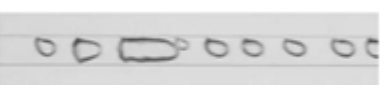

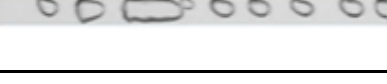

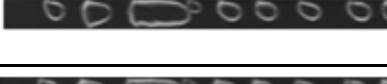

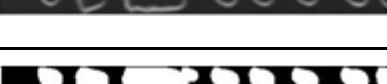
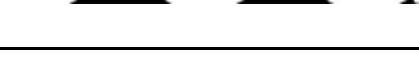
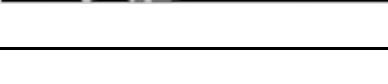
3.7.1.3 Image cropping

Image cropping adalah proses memilih bagian yang diperlukan dari sebuah gambar, yang dalam hal ini untuk memilih bagian dalam dari pipa. Bagian gambar pada dinding pipa maupun yang berada di luar pipa dibuang, karena tidak diperlukan pada analisis selanjutnya.

3.7.1.4 Image complement

Proses *image complement* adalah proses mengkonversi nilai *grayscale* ke nilai komplementnya, misalnya nilai 0 dikonversi ke nilai 255, atau sebaliknya.

Tabel 3.2. Konversi gambar RGB ke biner

| Proses | Hasil | |
|-------------------------|---|---|
| | <i>Aliran plug</i> | <i>Aliran bubbly</i> |
| 1. Pembacaan gambar RGB |  |  |
| 2. Image conversion |  |  |
| 3. Image cropping |  |  |
| 4. Image complement |  |  |
| 5. Filtering |  |  |
| 6. Biner |  |  |

3.7.1.5 Image filtering

Filtering merupakan proses penghilangan derau (*noise*) dari suatu citra, untuk mendapatkan kualitas gambar yang lebih baik dan lebih representatif. Jenis-jenis *filtering* yang digunakan adalah: *Mean filtering* atau *average filtering*, *median filtering*, dan *Gaussian filtering*.

Prinsip dari *mean filter* adalah mengganti setiap pixel dengan rata-rata nilai dari pixel tersebut dengan pixel-pixel di sekitarnya. *Median filter* menggunakan fungsi non linear dengan pengurutan statistika. Pixel dengan koordinat tertentu beserta dengan pixel-pixel di sekitarnya disusun menjadi sebuah deret untuk diketahui nilai tengahnya lalu nilai tengah tersebut digunakan untuk mengganti pixel awal. *Median filter* mampu mempertahankan detail lebih baik dan tidak sensitif terhadap *noise* dengan nilai kontras. *Filter Gaussian* memiliki prinsip yang hampir sama dengan *mean filtering* hanya saja nilai bobotnya tidak rata tetapi mengikuti fungsi *Gaussian*. Dalam penelitian ini, digunakan jenis *mean filtering*.

3.7.1.6 Konversi ke biner

Selanjutnya format citra diubah ke bentuk biner, yaitu 0 atau 1. Semua data dijustifikasi apakah menjadi 0 atau 1 berdasarkan nilai *threshold* yang sesuai. Proses binerisasi ini dilakukan dengan perintah “im2bw”. Gambar yang ditampilkan setelah proses ini hanya hitam dan putih saja.

3.7.1.7 Data gathering

Data gathering meliputi konversi ukuran, kalkulasi, dan menampilkan hasil *image processing*. Dari gambar biner dapat diketahui ukuran fase cair maupun fase gas, namun masih dalam satuan pixel. Untuk mengubah ukuran dari pixel ke mm, digunakan persamaan konversi. Dalam penelitian ini 30 pixel mewakili 1,6 mm atau 18,75 pixel/mm. Selanjutnya data fraksi hampa ditampilkan dalam file excel, yang dapat mengetahui *data time series*, *Probability Density Function (PDF)*, dan sebagainya.