

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah air

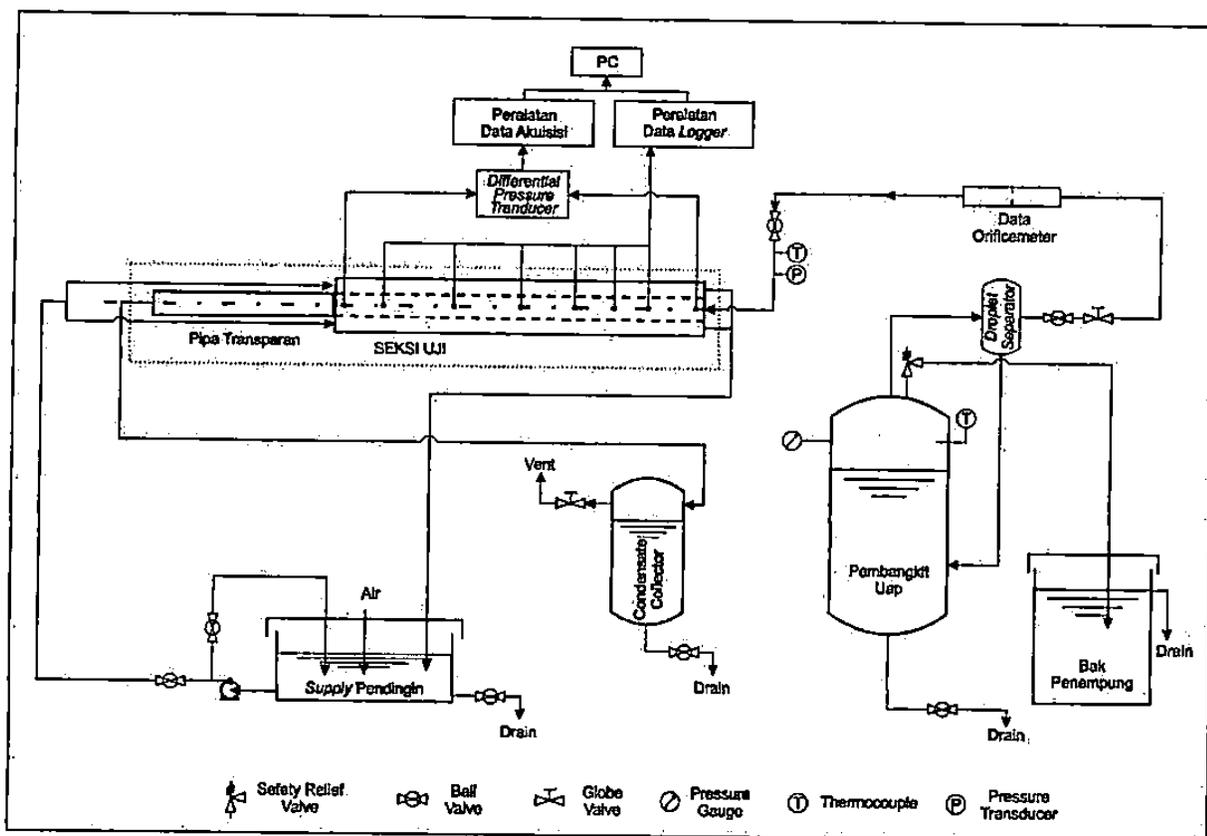
#### 4.2. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

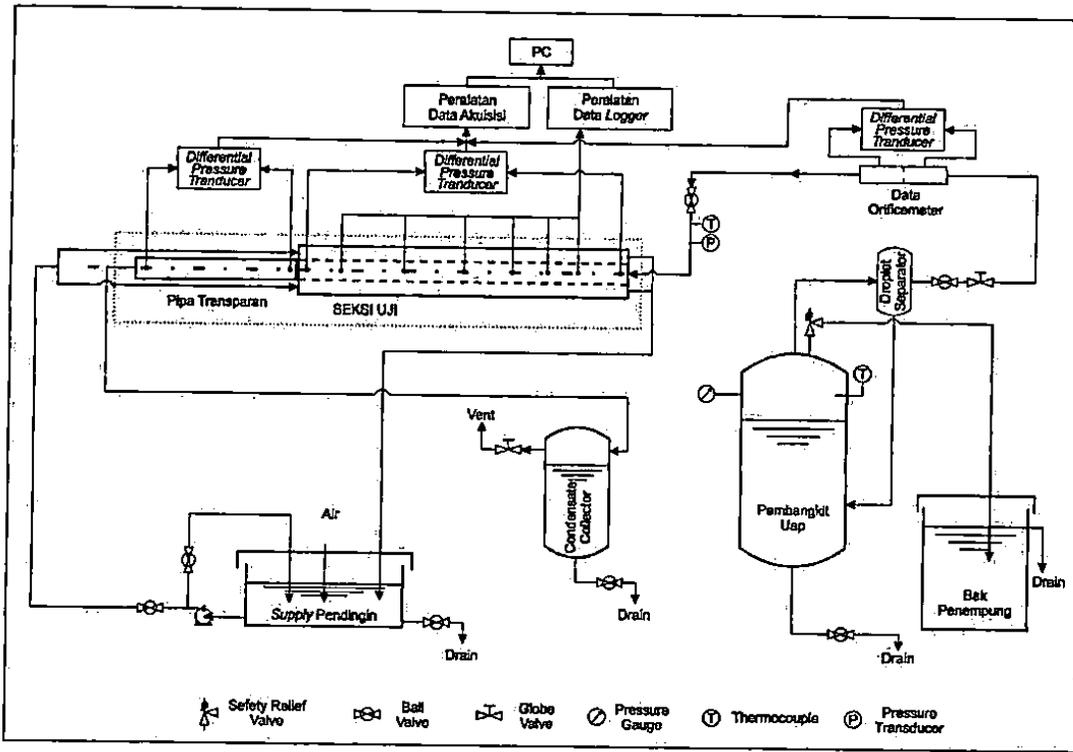
- a. Pipa anulus, yaitu pipa anulus bagian dalam dan bagian luar. Pipa anulus bagian dalam adalah pipa tembaga berdiameter dalam  $d_i=17,2$  mm dan diameter luar  $d_o=19$  mm, panjang 1,8 m. Sedangkan pipa anulus bagian luar adalah pipa besi (GIP) nominal diameter 4 inchi ( $d_i=108,3$  mm,  $d_o=114,3$  mm) dengan panjang 1,6 m. Pipa anulus bagian dalam dibuat lebih panjang agar mudah dalam proses penyambungannya dengan pipa yang lain.
- b. Pipa transparan, yaitu pipa kaca dengan  $d_i=16,8$  mm,  $d_o=19$  mm dan panjang 1,2 m untuk mengetahui visualisasi pola aliran dua fasa uap-kondensat yang terjadi.
- c. Sensor beda tekanan (*differential pressure transducer*), untuk mendeteksi beda tekanan yang terjadi di sepanjang pipa anulus bagian dalam (pipa kondensasi), pipa transparan dan pipa

- d. Peralatan akuisisi data digunakan untuk merekam data yang terbaca oleh sensor beda tekanan.
- e. *Steam Boiler*, digunakan untuk menghasilkan uap, tipe "*Automatic Steam Boiler PRIMUS-ES*" yang dikeluarkan oleh KARL KOLB GmbH & Co, daya 18000 Watt, dilengkapi dengan *water level regulator* dan *feed pump* (pompa pengisi) yang bekerja secara otomatis ketika aquades di dalam *boiler* berkurang pada level tertentu.
- f. *Orifice*, digunakan untuk mengukur laju aliran uap.
- g. Manometer U, digunakan untuk mengukur beda tekanan uap yang melewati *orifice* dan tekanan statis sebelum memasuki pipa uji.
- h. *Pressure gauge* dan *temperature gauge*, alat ukur untuk mengetahui tekanan dan temperature pada *steam boiler*.
- i. Penampung kondensat/uap berbentuk tabung dengan ukuran diameter  $d_0 = 20$  cm dan tinggi ( $t$ ) = 30 cm.
- j. Bak air pendingin dengan ukuran 1,2 m x 1,2 m x 0,6 m dan perlengkapannya seperti *by pass*, selang  $\frac{3}{4}$  inchi dan perlengkapan lain.
- k. *Feed pump*, merk "MARQUIS" dengan spesifikasi debit air maksimal 36 L/menit, digunakan untuk memompa air dari bak penampung air pendingin. ke pipa anulus bagian luar.
- l. Alat visulaisasi aliran (*video shooting/camera*). Pengolahan video dilakukan dengan software *Ulead Video Studio 11* dan *Snagit* sebagai

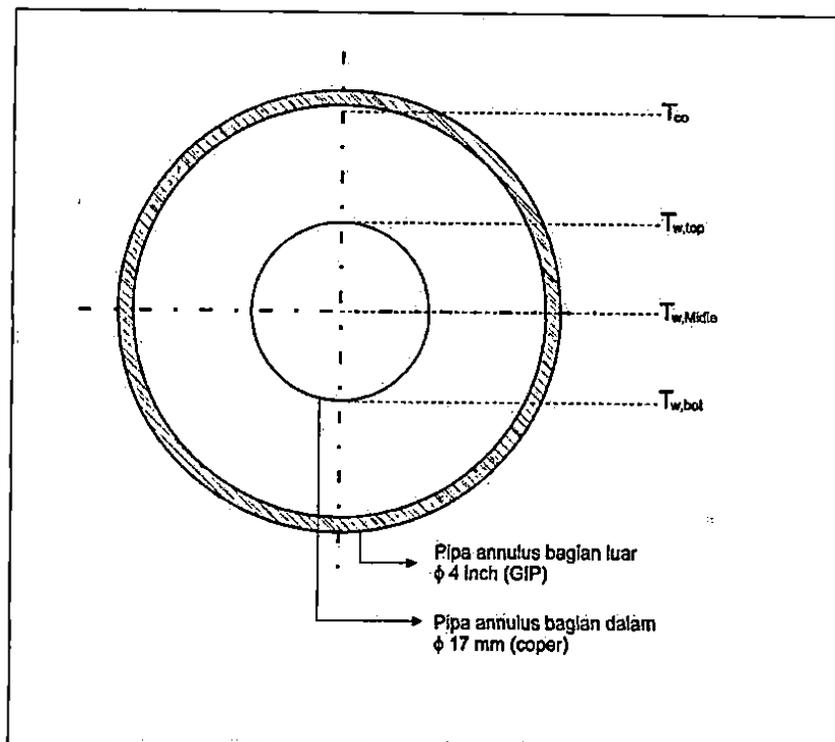
pemotong video dan *Total Video Converter* sebagai pemecah video menjadi *frame-frame* gambar.



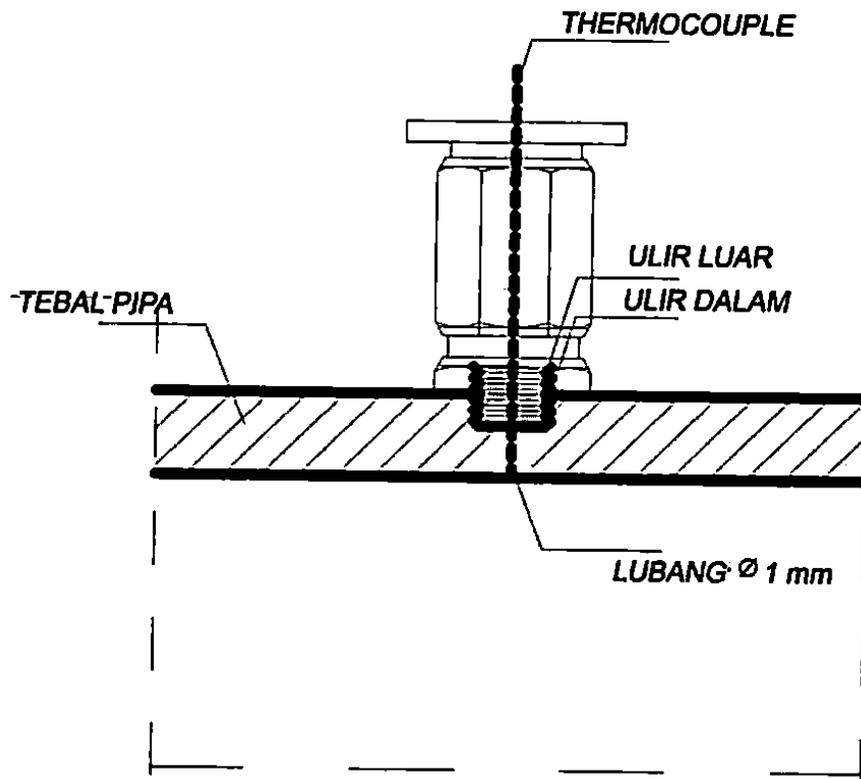
Gambar 4.1. Skema alat uji Penguasaan... ..



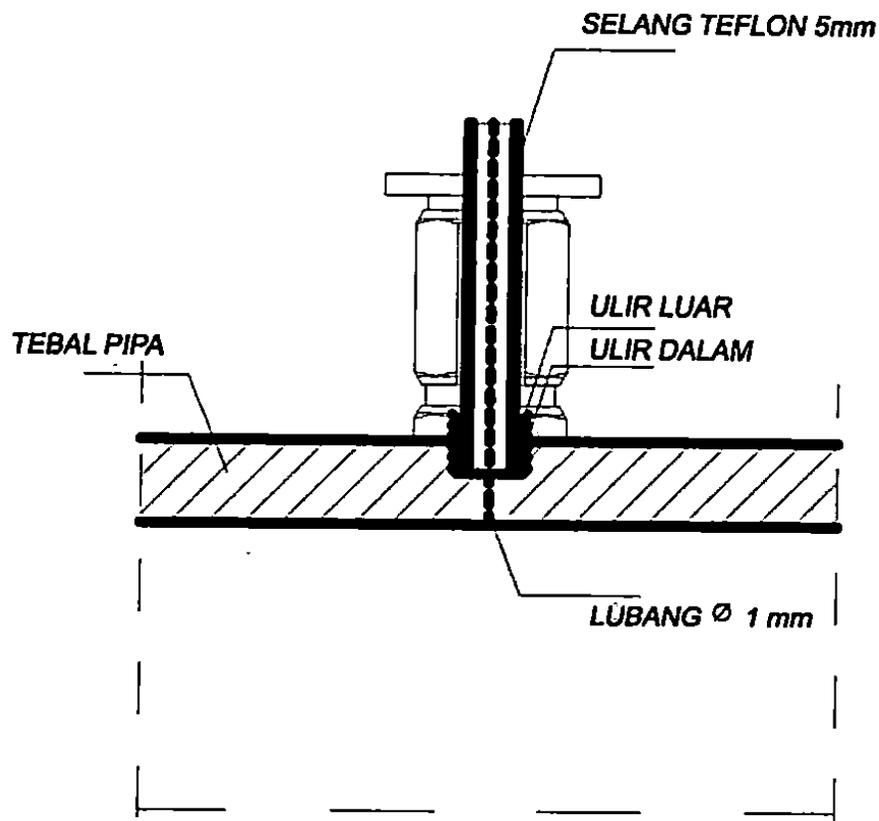
Gambar 4.1.b. Skema alat uji Fenomena *slugging* dan *waterhammer* (tahap II penyempurnaan)



Gambar 4.1.c. Skema pemasangan sensor tekanan dan temperatur pada penampang melintang pipa kondenser



Gambar 4.1.d. Skema pemasangan sensor temperatur pada pipa kondensor



Gambar 4.1.e. Skema pemasangan sensor temperatur pada pipa kondensor

### 4.3. Prosedur Penelitian

#### 4.3.1. Jalannya Penelitian

Penelitian ini diawali dengan perancangan dan pembuatan alat uji terlebih dahulu yang sesuai. Selanjutnya dilakukan kalibrasi atau penyetaraan terhadap alat ukur yang digunakan untuk memperoleh data yang benar dan akurat. Setelah itu dimulai dengan melakukan percobaan untuk memperoleh fenomena *slugging* dan *waterhammer* pada peristiwa kondensasi uap, melakukan pengukuran-pengukuran terhadap parameter-parameter antara lain tekanan statis aliran uap-kondensat, beda tekanan yang terjadi antara *inlet* dan *outlet* pipa kondensor, temperatur uap dan temperatur kondensat di berbagai posisi aksial maupun pada penampang melintang (*cross sectional*), laju aliran uap masuk, dan parameter lain yang diperlukan. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat maka dipakai alat ukur berbasis komputer (peralatan akuisisi data dan *data logger*) di dukung sensor-sensor temperatur, sensor beda tekanan yang mempunyai kepekaan yang baik.

Semua proses penelitian yang telah berlangsung dilakukan di Laboratorium *Heat and Mass Transfer* Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada (PSIT UGM). Secara lebih rinci langkah-langkah dalam penelitian ini terbagi dalam beberapa tahap sebagai berikut.

#### A. Tahap Persiapan Alat Kalibrasi

1. Tahap persiapan alat kalibrasi

Pada tahap ini AFG dihubungkan dengan *Oscilloscope*, kemudian *Oscilloscope* dihubungkan dengan peralatan akuisisi data, dan kemudian dihubungkan ke komputer yang telah diinstall program pencuplik data dengan menggunakan *delphi 7*.

2. Tahap persiapan alat validasi *sampling rate*

Persiapkan peralatan akuisisi data dan komputer untuk pengambilan data validasi *sampling rate*.

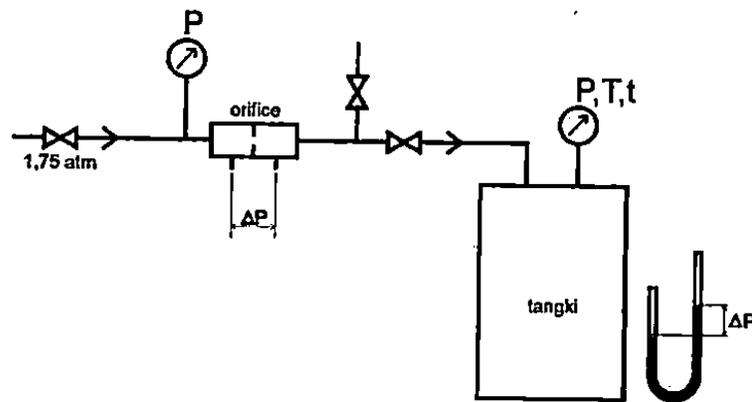
3. Tahap persiapan alat kalibrasi laju aliran uap atau udara

a. Hubungkan selang kompresor yang telah dilengkapi dengan katup dan pengatur tekanan udara keluar ke salah satu ujung *orifice*. *Orifice* dan titik uji tekanan statis dihubungkan dengan manometer.

b. Ujung *orifice* yang lain kemudian dihubungkan selang menuju tangki penampung. Di tengah-tengah selang yang menghubungkan *orifice* dan tangki penampung dibuat *by pass* seperti pada Gambar 4.3.

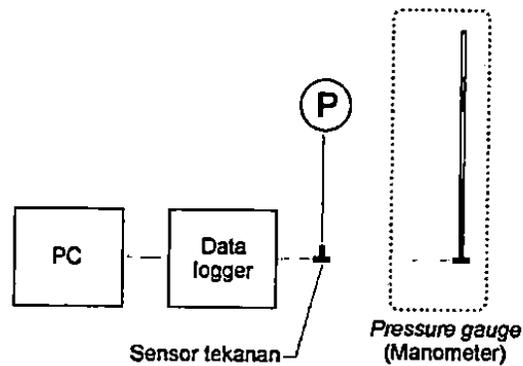
c. Pada tangki penampung dibuat *temperature gauge* dan *pressure gauge* menggunakan manometer dengan skala yang sama seperti pada manometer *orifice*.

d. Siapkan stopwatch dan alat kalibrasi udara yang digunakan

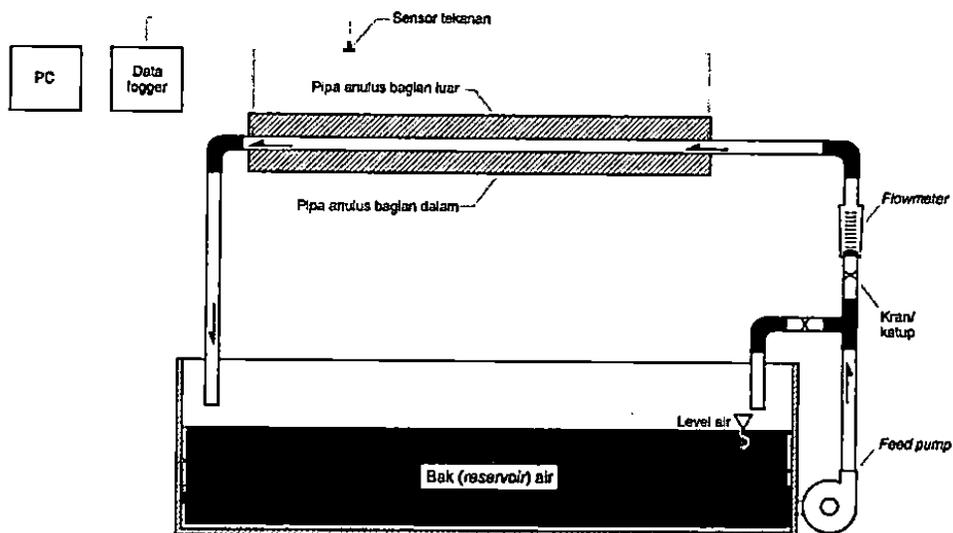


Gambar 4.2. Peralatan kalibrasi atau penyetaraan udara

#### 4. Tahap persiapan alat kalibrasi beda tegangan (Volt)



Gambar 4.3. Skema proses kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I



Gambar 4.4. Skema proses kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap II

Persiapan kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I sebagai berikut :

- a. Persiapkan tambahan manometer satu sisi dengan skala ketinggian 2 m, kemudian hubungkan ujung bawah *tube* manometer tadi ke ujung vertikal sensor tekanan (lihat Gambar 4.3.)
- b. Salah satu ujung horisontal sensor tekanan dihubungkan ke data peralatan akuisisi data.
- c. Peralatan akuisisi data dihubungkan ke komputer dan alat kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I siap digunakan.

Persiapan kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap II sebagai berikut :

- a. Persiapkan bak *reservoir* air dan isi dengan air secukupnya.
- b. Rangkai perlengkapan lain yang meliputi perpipaan, *by pass*, dan *feed pump* seperti pada Gambar 4.4.
- c. Rangkai *orifice*, pipa uji (khususnya pipa anulus bagian dalam) yang telah dipasang sensor beda tekanan, titik uji tekanan statis dan pipa balik menuju bak *reservoir* air seperti pada Gambar 4.4.
- d. Persiapkan peralatan akuisisi data. Alat kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap II siap digunakan.

#### 5. Tahap persiapan alat uji utama

- a. Pembuatan pipa anulus dengan spesifikasi sebagaimana disebutkan pada poin 4.1.a. Yang perlu diperhatikan dalam pengerjaannya adalah masalah kebocoran yang harus dihindari. Kebocoran-

menggunakan *silicon rubber dow corning* yang banyak dengan pengeringan secara bertahap, yaitu dilakukan pengeleman berlapis.

- b. Pemasangan sensor tekanan terletak pada ujung inlet dan outlet pipa annulus bagian dalam. Untuk menghindari kebocoran dan kemungkinan meleleh digunakan selang teflon yang tahan suhu tinggi.
- c. Pemasangan pipa uji transparan yang terbuat dari kaca. Dibelakang pipa uji dibuat background dengan kertas *milimeter blok* yang diperkuat dengan *sterofom* dengan skala per 5 cm.
- d. Pemasangan *orifice* dan titik uji tekanan statis yang rawan kebocoran. Kebocoran pada *orifice* rawan karena disini terjadi *pressure drop* uap dengan suhu tinggi yang mencapai 124°C. Adapun pada titik uji tekanan statis rawan kebocoran karena titik uji dibuat dari *tube* tembaga yang dilas, sedangkan pipa di sepanjang *orifice* dan titik uji tekanan statis terbuat dari besi (GIP skedul 40) sehingga pengelasan kurang kuat. Untuk mengatasi masalah ini digunakan *silicon rubber dow corning* yang banyak sehingga sambungan tertutup rapat.
- e. Pemasangan manometer untuk mengukur tekanan *orifice* dan titik uji tekanan statis. Karena fluida yang dipakai adalah air, maka manometer dibuat tinggi untuk menghindari kemungkinan *over load*.

Manometer dibuat dengan kemampuan untuk mengukur tekanan

- f. Pemasangan bak *reservoir* air pendingin dan perlengkapannya berupa *feed pump*, *by pass*, dan perpipaannya.
- g. Perakitan perpipaan pendukung sehingga alat uji terpasang
- h. Pemasangan isolasi di sepanjang pipa dari *boiler* hingga titik *inlet* pipa pendingin (pipa anulus bagian luar). Untuk pipa dari *boiler* hingga titik *inlet* pipa kondensasi (pipa anulus bagian dalam) digunakan selang matras dan ditutup dengan isolasi alumunium foil, sedangkan untuk isolasi pipa pendingin digunakan pita asbes dan ditutup dengan isolasi *alumunium foil*.
- i. Pemasangan peralatan akuisisi data dan komputer.

## **B. Tahap pengambilan data kalibrasi**

### **1. Tahap pengambilan data validasi gelombang**

- a. Nyalakan semua alat yang digunakan pada proses pengambilan data validasi signal meliputi AFG, *Oscilloscope*, data logger, dan komputer.
- b. *Input*-kan gelombang dari AFG. Variasi signal/gelombang dilakukan dengan 10 variasi frekuensi gelombang dan 10 variasi amplitudo gelombang VPP (*Volt Peak to Peak*), jadi total ada 100 variasi input gelombang. Variasi input gelombang dibuat dari rentang frekuensi

- c. Gelombang dari AFG akan terbaca dengan *Oscilloscope*. Dengan *Oscilloscope* inilah variasi gelombang VPP akan terlihat sehingga pengaturan variasinya menjadi lebih mudah.
- d. Gelombang setelah melalui *Oscilloscope* akan ditangkap oleh peralatan akuisisi data dan direkam oleh program *delphi 7* selama 2-4 menit.

## 2. Tahap pengambilan data validasi *sampling rate*

Peralatan akuisisi data pada penelitian utama digunakan untuk merekam data beda tekanan dengan jumlah dua juta data selama waktu 4 (empat) menit. Adapun pada validasi dibalik, *data logger* digunakan untuk merekam lama pengambilan data sebanyak dua juta data sehingga diketahui berapa rata-rata waktu *riil* yang dibutuhkan oleh alat untuk merekamnya. Pengambilan data dilakukan sebanyak 13 (tiga belas) kali pengulangan kemudian diambil rata-ratanya.

## 3. Tahap pengambilan data kaliberasi laju aliran uap/udara

- a. Persiapkan alat sebelum melakukan pengambilan data dengan posisi awal katup kompresor dan katup pada pipa *by pass* arah horisontal dalam keadaan tertutup.
- b. Siapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu yang dibutuhkan tinggi kolom air pada skala manometer tangki penampung untuk naik dari skala 0 menuju skala variasi debit uap yang melalui *orifice* yang akan dikaliberasi, yaitu skala variasi debit *orifice* pada penelitian

- c. Persiapkan *temperature gauge* untuk mengukur temperatur tangki.
- d. Jika semua sudah siap, kalibrasi udara siap dilaksanakan.
- e. Buka katup kompresor untuk mengatur tekanan keluar kompresor agar sesuai dengan tekanan uap air keluar *boiler* yang akan diatur pada penelitian utama. Pembukaan katup kompresor disesuaikan dengan variasi debit uap keluar boiler pada penelitian utama dalam bentuk variasi tinggi kolom air pada manometer *orifice*.
- f. Jika poin (e) sudah selesai, lakukan secara serentak hal-hal berikut ini:
  1. Katup pada pipa *by pass* arah horisontal menuju tangki dibuka.
  2. Katup pada pipa *by pass* arah vertikal menuju atmosfer ditutup.
  3. Catat temperatur pada tangki penampung.
  4. Catat waktu yang dibutuhkan air pada skala manometer tangki penampung untuk naik dari skala 0 menuju skala tinggi kolom air pada manometer *orifice* yang mewakili variasi debit uap melalui *orifice* yang sedang dikalibrasi.
  5. Catat tekanan statis pada saat skala manometer tangki penampung mencapai tinggi kolom air yang sama dengan manometer *orifice*.
- g. Untuk variasi selanjutnya lakukan langkah di atas secara berulang-ulang.

Pengambilan data kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I sebagai berikut:

- a. Isi selang manometer dengan menggunakan air sesuai dengan variasi tinggi kolom air yang diinginkan untuk divalidasi. Variasi tinggi kolom air yang diuji sebanyak 15 (lima belas) kali dari variasi 0-140 cm.
- b. Tiap-tiap variasi diambil datanya dengan menggunakan *Data logger* dan direkam oleh *Delphi 7* selama 4 menit.

Pengambilan data kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I sebagai berikut.

- a. Hidupkan pompa, buka katup *by pass* sesuai dengan kebutuhan variasi debit air yang diinginkan.
- b. Jika air sudah mengalir *steady state* di sepanjang pipa anulus bagian dalam lakukan perekaman data beda tekanan selama 4 (empat menit) dengan menggunakan *data logger*.
- c. Untuk variasi debit air yang lain lakukan seperti di atas secara berulang-ulang.

### **C. Tahap Pengambilan Data Beda Tekanan**

1. *Reservoir* boiler diisi dengan aquades hingga level tertinggi, kemudian tekanan maksimal *bioler* diatur 2,5 atm. Dengan pengaturan tekanan *boiler* maksimal 2,5 atm, boiler akan mencapai tekanan optimal 2 atm dan tekanan rata-rata 1,8 atm. Tekanan optimal dan tekanan rata-rata ini

diketahui berdasarkan pengamatan. Tekanan optimal adalah tekanan tertinggi yang dicapai *boiler* pada saat katup ditutup, sedangkan tekanan rata-rata adalah tekanan rata-rata *boiler* ketika debit uap air yang mengalir stabil pada saat katup dibuka.

2. *Boiler* dinyalakan dan ditunggu hingga mencapai tekanan 2 atm. Waktu yang dibutuhkan sekitar 40 menit 5 detik.
3. Selama menunggu proses pembentukan uap di dalam *boiler* berlangsung, peralatan akuisisi data dan perekam visualisasi aliran (*video shooting/camera*) dipersiapkan. *Delphi 7* dibuka dan diatur sehingga siap diklik untuk merekam data beda tegangan ketika katup uap *boiler* mulai dibuka. Perlu diketahui bahwa data beda yang terekam oleh *data logger* adalah berupa beda tegangan (*Volt*).
4. Jika semua hal di atas sudah siap, buka katup *by pass* pada peralatan air pendingin dengan pengaturan debit 33 L/menit. Selanjutnya proses pengambilan data siap dimulai.
5. Katup *boiler* mulai dibuka, kemudian disesuaikan dengan variasi debit uap yang akan diuji pada skala manometer *orifice*. Pada penelitian ini dilakukan 7 (tujuh) variasi debit uap. Skala pada *orifice* adalah dalam mm ketinggian (perbedaan tekanan).
6. Jika skala manometer sudah menunjukkan variasi yang diinginkan, maka pencatatan data yang dibutuhkan dan perekaman visualisasi aliran mulai dilakukan secara serentak selama 4 (empat) menit. Pencatatan data

diambil pada saat katup pada manometer *orifice* dan tekanan statis

beda tegangan dengan menggunakan *data logger*, serta tekanan dan temperatur *boiler*.

7. Untuk variasi selanjutnya lakukan poin 4-5 secara berulang-ulang.

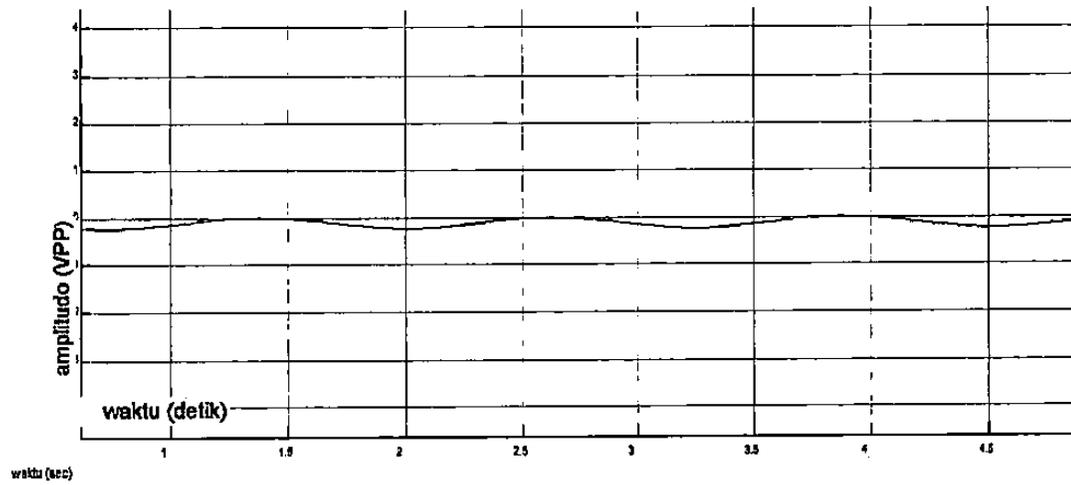
#### **D. Tahap pengolahan data kalibrasi**

##### **1. Tahap pengolahan data validasi gelombang**

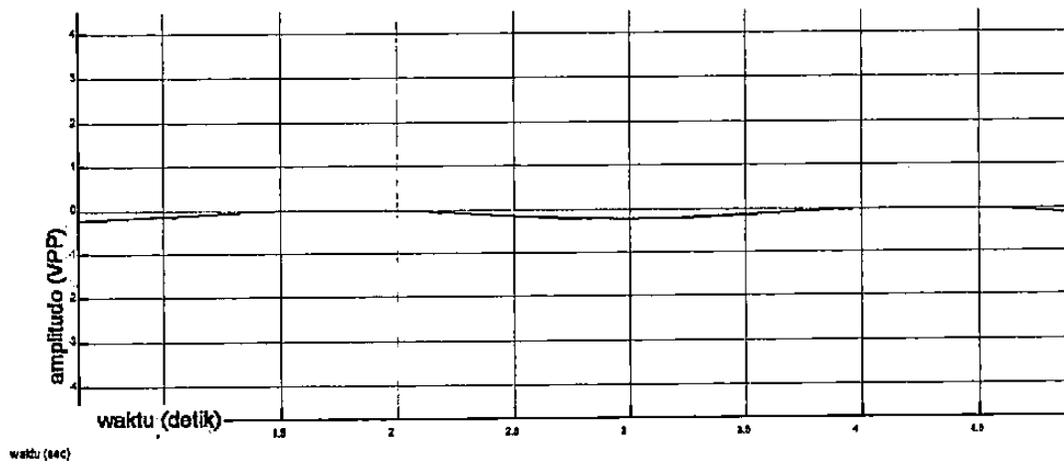
Validasi gelombang bertujuan untuk membuktikan apakah sinyal yang ditangkap oleh data logger dari sensor tekanan dalam bentuk beda tegangan pada seluruh penelitian ini benar atau tidak. Untuk itu, gelombang yang diinputkan ke data logger adalah gelombang standar yang bias ditentukan besar frekuensi dan amplitudonya. Dengan menguji kemampuan *data logger* pada 10 frekuensi gelombang dan 10 amplitudo gelombang, didapatkan 100 validasi. Pengujian pada 10 frekuensi bertujuan agar diketahui apakah pada frekuensi rendah, menengah, dan tinggi *data logger* mampu merekam semua dengan baik.

Dari hasil validasi, ternyata pada frekuensi yang sangat tinggi (frekuensi maksimal AFG) gelombang yang dihasilkan kurang baik.

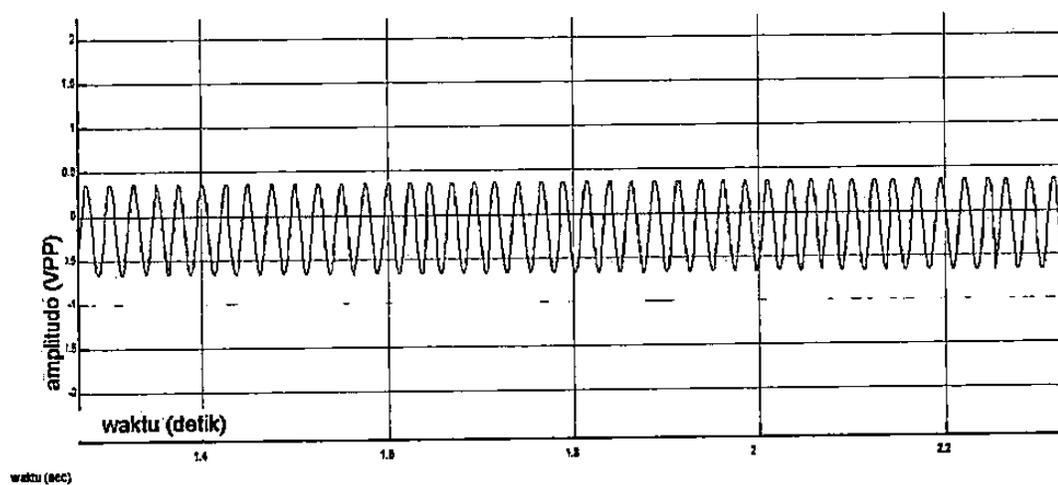
Berikut ini hasil validasi gelombang pada beberapa frekuensi:

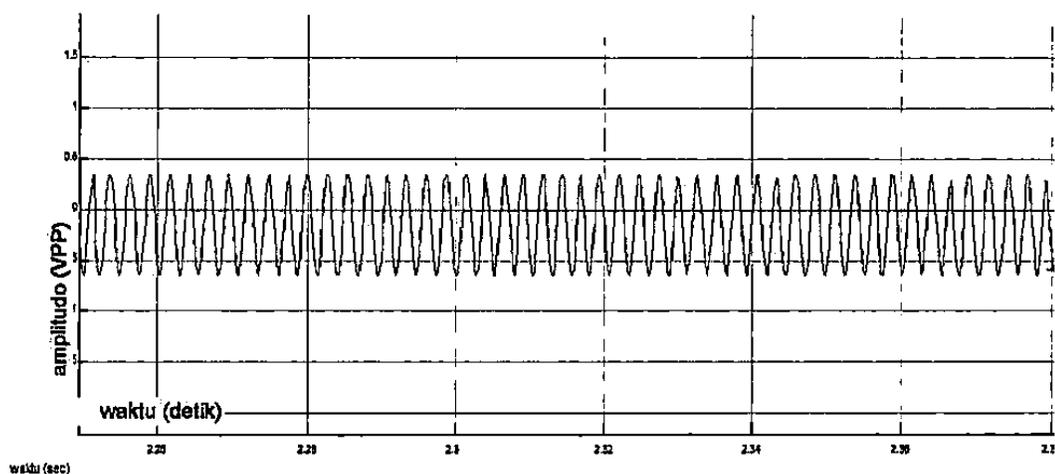


Gambar 4.5. Validasi gelombang pada 100 Hz dan 0 VPP

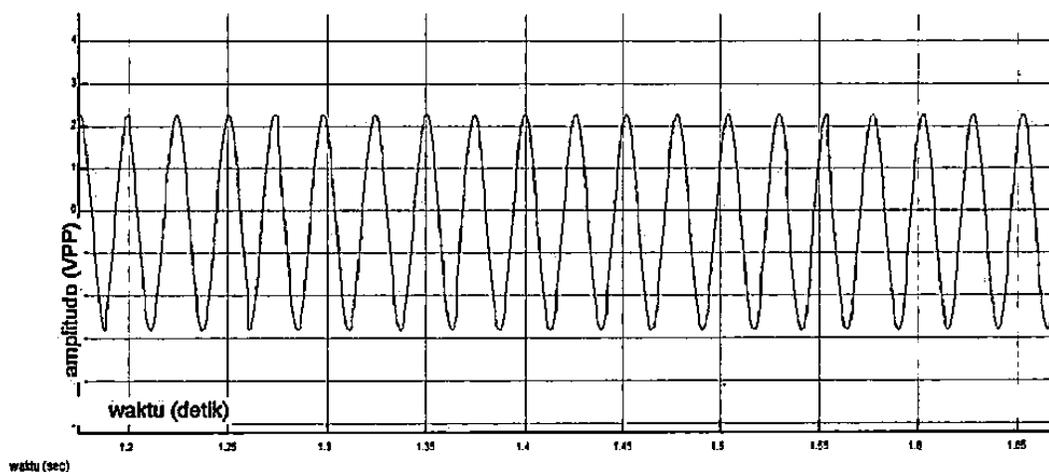


Gambar 4.6. Validasi gelombang pada 5 KHz dan 0 VPP

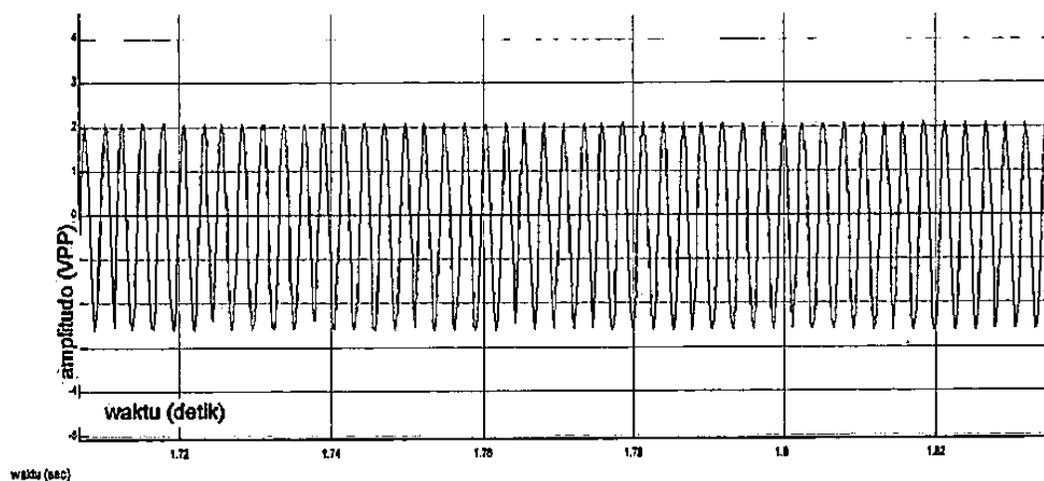




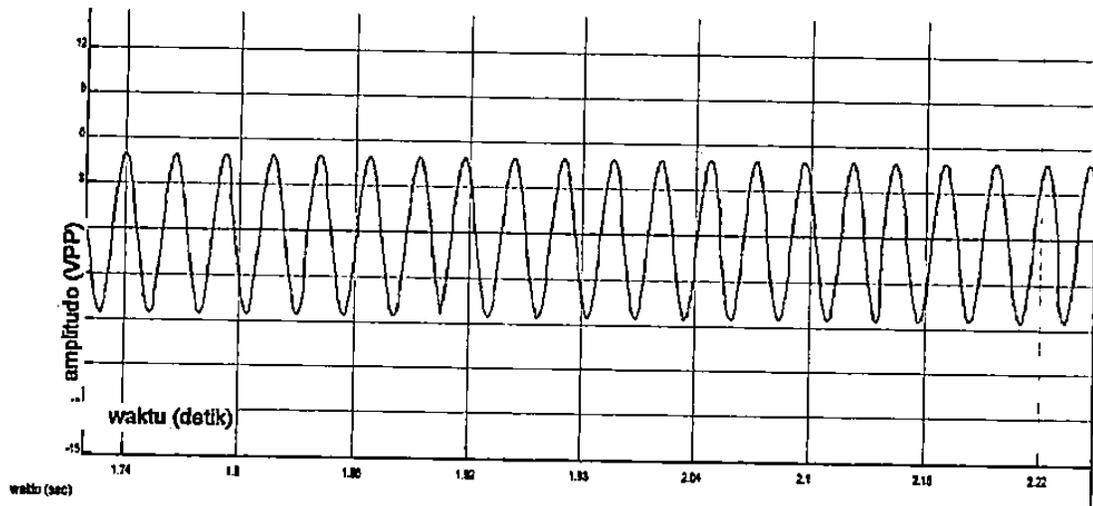
Gambar 4.8. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 1 VPP



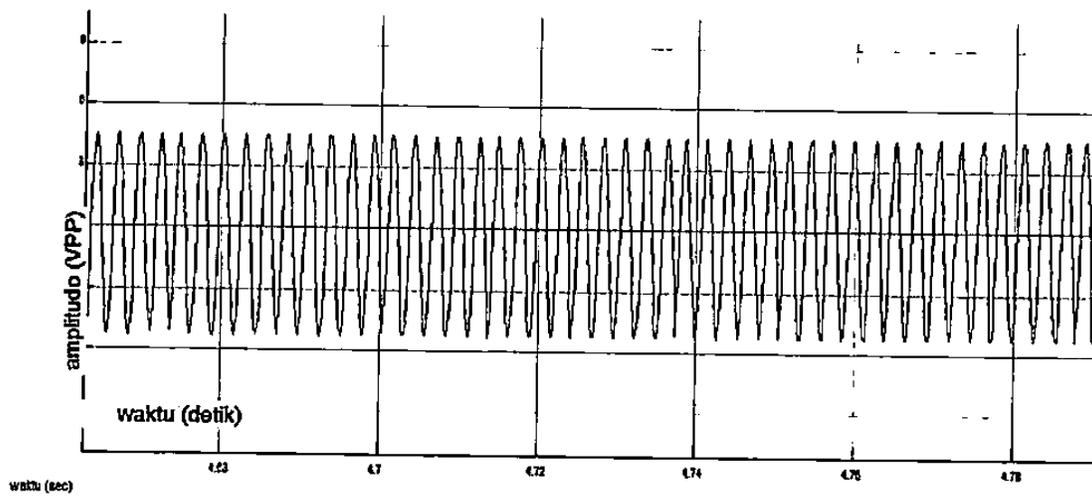
Gambar 4.9. Validasi gelombang pada 50 Hz dan 5 VPP



Gambar 4.10. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 5 VPP



Gambar 4.11. Validasi gelombang pada 50 Hz dan 10 VPP



Gambar 4.12. Validasi gelombang pada 500 Hz dan 10 VPP

## 2. Tahap pengolahan data validasi *sampling rate*

Validasi *sampling rate* dilakukan sebanyak 13 (tiga belas) kali.

Berikut data hasil validasi *sampling rate* yang didapatkan berdasar percobaan I, menggunakan 1 (satu) buah *differential pressure transducer*, dengan skema alat uji seperti gambar 4.1 -

Tabel 4.1. Data validasi *sampling rate*

Sampel	$t_{akhir}$	$t_{awal}$	t (detik)
Sampel 1	10:36:35	10:32:09	264
Sampel 2	10:47:56	10:43:25	271
Sampel 3	10:53:05	10:48:34	271
Sampel 4	10:59:00	10:54:32	268
Sampel 5	11:04:51	11:00:20	271
Sampel 6	11:10:14	11:05:42	272
Sampel 7	11:17:08	11:12:33	275
Sampel 8	11:22:47	11:18:13	274
Sampel 9	11:33:29	11:28:55	274
Sampel 10	11:42:19	11:37:47	272
Sampel 11	11:47:47	11:43:09	278
Sampel 12	11:52:58	11:48:27	271
Sampel 13	11:58:19	11:53:46	273
Rata-rata waktu <i>sampling</i>			272

Dengan pengaturan jumlah data yang diambil dua juta data, maka *sampling rate* dapat diketahui.  $Sampling\ rate = 2.000.000/272 = 7353$  data/detik. Dengan cara yang sama, untuk percobaan II dengan skema alat uji seperti gambar 4.1.b., menggunakan 3 buah *differential pressure transducer*, diperoleh data *sampling rate* sama dengan 1310 data /detik.

### 3. Tahap pengolahan data kalibrasi laju aliran uap/udara

Proses kalibrasi atau penyetaraan ini berfungsi untuk mengetahui apakah debit uap yang ditunjukkan oleh tinggi kolom air manometer *orifice* nilainya tepat atau tidak. Kalibrasi/penyetaraan debit uap menggunakan udara dipilih dengan pertimbangan bahwa persentase *error*

jika uap dianggap gas ideal (udara) pada tekanan gauge keluar uap rata-

rata 1,75 atm ( $P_{abs} = 2,75$  atm) masih dapat ditoleransi, yaitu sekitar 2,65 %. Dengan menggunakan persamaan umum gas ideal ( $P.V = M.R.T$ ), maka dapat dihitung laju massa waktu yang dibutuhkan tangki untuk mencapai tekanan sebagaimana tekanan pada manometer *orifice*:

$$P.V = M.R.T \quad \text{maka} \quad P.V = \dot{m}.t.R.T$$

$$\dot{m} = (P.V)/(t.R.T) \quad (4.1)$$

Dengan bentuk tangki penampung yang *rigid* (isokhorik), maka dapat ditentukan:

- a. Kondisi Awal (kosong) Tangki:  $P_0, T_0, R, M_0$  yaitu kondisi 1 atm, sehingga didapat:

$$M_0 = \frac{P_0.V}{R.T_0} \quad (4.2)$$

- b. Kondisi Akhir (isi) Tangki:  $P_1, T_1, R, M_1$  sehingga didapat:

$$M_1 = \frac{P_1.V}{R.T_1} \quad (4.3)$$

Maka massa yang tertampung dalam tangki:

$$M = M_1 - M_0 \quad (4.4)$$

$$M = \frac{P_1.V}{R.T_1} - \frac{P_0.V}{R.T_0} \quad (4.5)$$

Karena proses berlangsung pada tekanan rendah kenaikan temperatur menjadi sangat kecil sehingga dianggap  $T_0 = T_1 = T$ , sehingga

lain massa udara yang masuk ke dalam tangki dapat diketahui:

$$\dot{m} = \frac{V}{t.RT} (P_1 - P_0) \quad (4.7)$$

Untuk memudahkan perhitungan persamaan di atas diubah dalam bentuk tekanan *orifice gauge*:

$$\dot{m} = \frac{V}{t.RT} (P_{orfc.gauge} + P_0 - P_0) \quad (4.8)$$

$$\dot{m} = \frac{V}{t.RT} P_{orfc.gauge} \quad (4.9)$$

dengan,

$m$  = laju massa udara (kg/s)

$V$  = volume tangki ( $m^3$ )

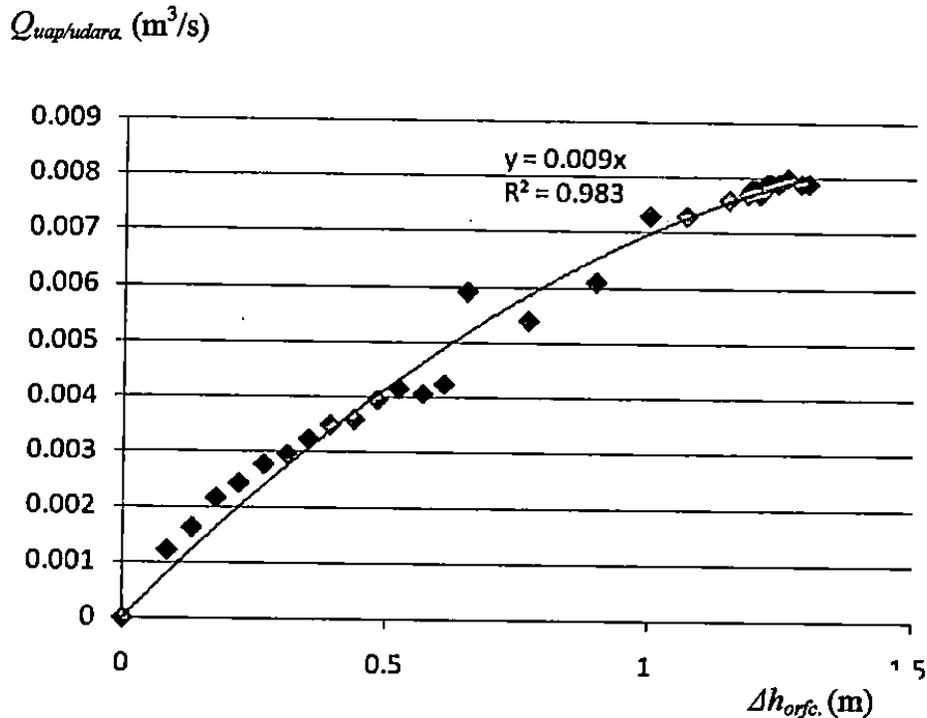
$t$  = waktu yang dibutuhkan tangki untuk mencapai tekanan *orifice*

Tabel 4.2. Data perhitungan kalibrasi udara

NO.	$\Delta h_{orfc}$ (m)	$Q_{udara, p}$ (m <sup>3</sup> /s)
1	0	-
2	0,083	0,0012
3	0,130	0,0016
4	0,175	0,0022
5	0,218	0,0024
6	0,265	0,0028
7	0,310	0,0030
8	0,350	0,0032
9	0,391	0,0035
10	0,437	0,0036
11	0,481	0,0040
12	0,522	0,0042
13	0,568	0,0041
14	0,609	0,0042
15	0,652	0,0059
16	0,770	0,0054
17	0,899	0,0061
18	1,000	0,0073
19	1,070	0,0073
20	1,150	0,0076
21	1,185	0,0077
22	1,193	0,0078
23	1,200	0,0078
24	1,208	0,0077
25	1,221	0,0079
26	1,228	0,0079
27	1,243	0,0079
28	1,260	0,0080
29	1,286	0,0079
30	1 300	0 0079

$$\Delta P_{orfc. gauge} = \rho_{air} \times g \times \Delta h_{orfc.}$$

$$Q_{udara} = m/\rho_{udara}$$



Gambar 4.13. Grafik hubungan debit udara/uap ( $Q_{uap/udara}$ ) dengan beda tekanan *orifice* ( $\Delta h_{orfc.}$ )

Dari grafik dapat dilihat bahwa hubungan antara debit udara/uap  $Q_{uap/udara}$  dengan beda tekanan *orifice* ( $\Delta h_{orifice}$ ) mempunyai hubungan kuadratis dengan persamaan :

$$Q_{uap/udara} = -0,0027 \Delta h_{orifice}^2 + 0,0097 \Delta h_{orifice} \quad (4.10)$$

dengan derajat ketelitian  $R^2 = 0,9838$  atau 98,38%.

#### 4. Tahap pengolahan data kalibrasi beda tegangan (Volt)

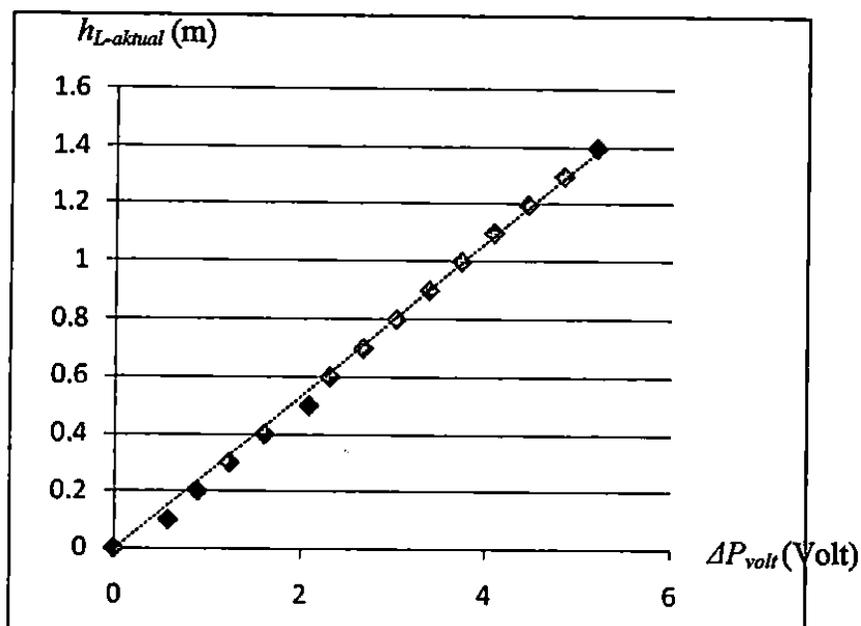
Proses kalibrasi beda tegangan (Volt) dibagi menjadi 2 tahap.

Kalibrasi tahap I dilakukan dengan menambatkan...

tinggi kolom air (dinyatakan dengan notasi  $h_{L-aktual}$ ) dengan beberapa variasi ketinggian sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3. Data kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I

$h_{L-aktual}$ (cm)	$h_{L-aktual}$ (m)	$\Delta P_{volt}$ (Volt)
0	0	0
10	0,1	0,577964417
20	0,2	0,89627162
30	0,3	1,233771477
40	0,4	1,610976652
50	0,5	2,086846052
60	0,6	2,312032254
70	0,7	2,673786574
80	0,8	3,031040861
90	0,9	3,387792596
100	1	3,737914049
110	1,1	4,089143646
120	1,2	4,452827254
130	1,3	4,840813374
140	1,4	5,193640944



Gambar 4.14. Grafik kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap I

Dari grafik di atas dapat diketahui hubungan antara beda tegangan  $\Delta P$  (Volt) dengan tinggi kolom air  $h_{L-aktual}$  (m) mempunyai hubungan persamaan yang linear dengan tingkat kebenaran 99,6 %:

$$h_{L-aktual} = 0,265 \Delta P \quad (4.11)$$

Proses kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap II bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara beda tegangan  $\Delta P$  (Volt) dengan rugi-rugi mayor (*head loss*) yang dinyatakan dengan notasi  $h_{L-hitungan}$  (m) di sepanjang pipa anulus bagian dalam yang mengalami proses pendinginan oleh pipa anulus bagian luar. Rugi-rugi mayor dalam sebuah pipa dengan panjang  $L$  didapatkan dari persamaan berikut ini:

$$h_{L-hitungan} = f \frac{L.v^2}{D.2g}$$

$$h_{L-hitungan} = f \frac{L.(Q/A)^2}{D.2g} \quad (4.12)$$

$$h_{L-hitungan} = 16f \frac{L.Q^2}{\pi^2.D^5.2g} \quad (4.13)$$

dengan,

$h_{L-hitungan}$  = rugi-rugi mayor di sepanjang pipa  $L$

$f$  = Friction factor (Diagram *Moody*),  $f_{lam} = 64/Re$ ,  $f_{turb}(Re, \epsilon/D)$

$L$  = panjang pipa (m)

$Q$  = debit air yang mengalir di sepanjang pipa ( $m^3/s$ )

$D$  = diameter pipa

$g$  = gaya gravitasi =  $9.806 \text{ m}^2/s$

$$\text{Re} = \frac{v.D.\rho}{\mu} \quad (4.14)$$

$$\text{Re} = \frac{(Q/A).D.\rho}{\mu} \quad (4.15)$$

$$\text{Re} = \frac{4Q.\rho}{\pi.D.\mu} \quad (4.16)$$

dengan,

$\mu$  = viskositas absolut (N.s/m<sup>2</sup>)

Kalibrasi ini dilakukan sebagaimana penelitian sebenarnya, hanya saja fluida yang mengalir di dalam pipa kondensasi diganti dengan air. Jadi, input tegangan berupa dari rugi-rugi mayor di sepanjang pipa anulus bagian dalam yang dipasang sensor di ujung *inlet* dan *outlet*-nya. Hasil kalibrasi tahap II sebagai berikut.

Tabel 4.4. Perhitungan rugi-rugi mayor  $h_{L\text{-hitung}}$

$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	Re	f (Moody, Dg)	$h_{L\text{-hitung}}$ (m)
0	0	0	0
0,000116	8679,575758	0,03203	0,040229458
0,000134	10024,47415	0,03082	0,051635227
0,000161	12016,91622	0,02926	0,070445076
0,000188	14046,71658	0,02797	0,092009434
0,000258	19276,87701	0,02621	0,162379285
0,000324	24170,81283	0,02505	0,243994756
0,000391	29214,18182	0,02379	0,338510504
0,00047	35129,24421	0,02288	0,470743014

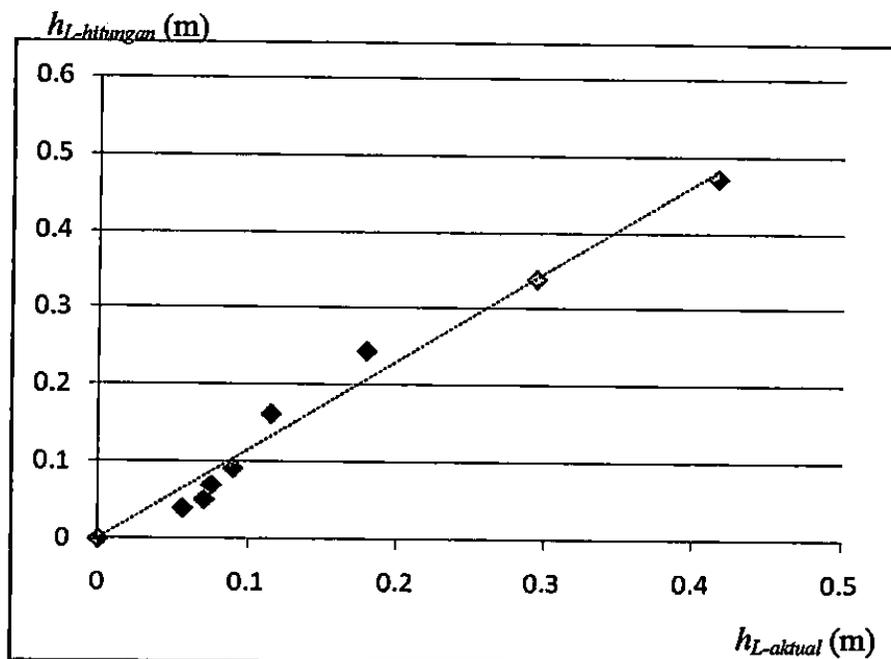
## Keterangan

$L = 1,6 \text{ m}$ ;  $D = 17 \text{ mm}$ ;  $\rho_{\text{air pada } T=27^\circ\text{C}} = 998 \text{ kg/m}^3$ ;

$\mu_{\text{air pada } T=27^\circ\text{C}} = 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ ;  $\epsilon/D = 8,96471 \times 10^{-5}$

Tabel 4.5. Data kalibrasi beda tegangan (Volt) tahap II

$Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$\Delta P_{\text{volt}}$ (Volt)	$h_{L\text{-aktual}}$ (m)	$h_{L\text{-hitung}}$ (m)
0	0	0	0
0,000116	0,212327595	0,056394209	0,040229458
0,000134	0,266185173	0,070698782	0,051635227
0,000161	0,284262377	0,075500087	0,070445076
0,000188	0,338995447	0,090037191	0,092009434
0,000258	0,433975212	0,115263816	0,162379285
0,000324	0,674839757	0,17923744	0,243994756
0,000391	1,1082585	0,294353458	0,338510504
0,00047	1,567347266	0,416287434	0,470743014

Gambar 4.15. Grafik hubungan antara  $h_{L\text{-aktual}}$  (m) dengan  $h_{L\text{-hitung}}$  (m)

Dari grafik pada Gambar 4.15 didapatkan hubungan antara rugi-rugi mayor aktual dengan rugi-rugi mayor yang didapatkan dari hasil perhitungan sebagai berikut.

$$h_{L\text{-hitung}} = 1,153 h_{L\text{-aktual}} \quad (4.17)$$

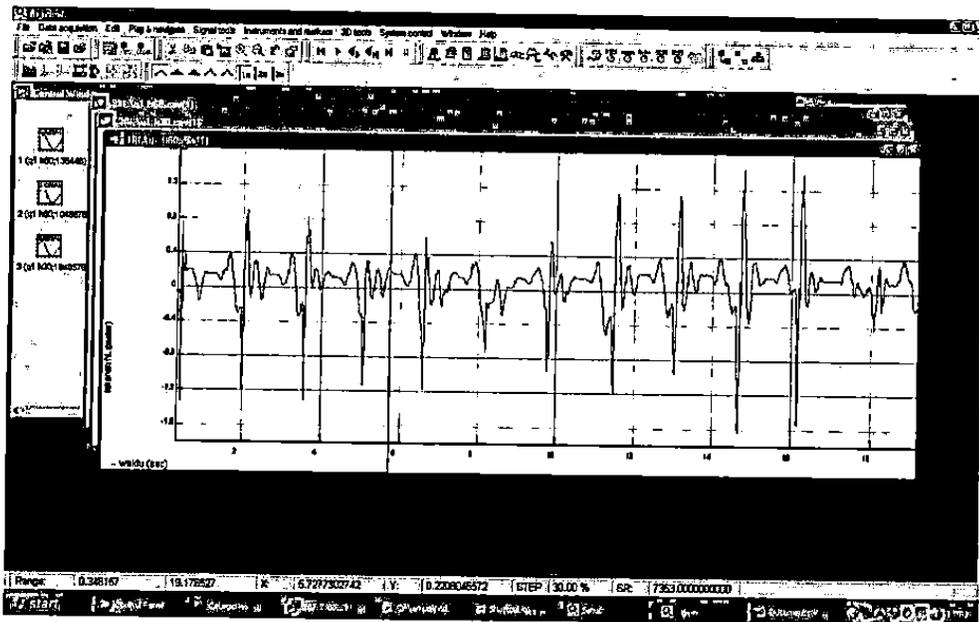
$$h_{L\text{-hitung}} = 1,153 \times 0,265 \times \Delta P_{\text{volt}} \text{ (m)} \quad (4.18)$$

dengan tingkat kebenaran 97,8 %. Dengan persamaan inilah beda tegangan yang nanti terekam oleh *data logger* dikonversi menjadi beda tekanan dalam bentuk rugi-rugi mayor (*head loss*).

### E. Tahap Pengolahan Data Beda Tekanan

Pengolahan data beda tekanan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Data beda tegangan yang didapatkan dari perekaman *data logger* dipindah ke dalam tabel menggunakan *Microsoft Excel 2007*. Maksimal data yang dapat diolah oleh *Microsoft Excel 2007* adalah 1.048.576 data (sebanyak jumlah baris dalam tabel *Microsoft Excel 2007*).
- b. Data tersebut dikaliberasi dengan menggunakan persamaan 4.18 dan disimpan dalam format *\*.csv (comma delimited)*.
- c. Selanjutnya data yang sudah disimpan dalam *\*.csv* diolah menggunakan

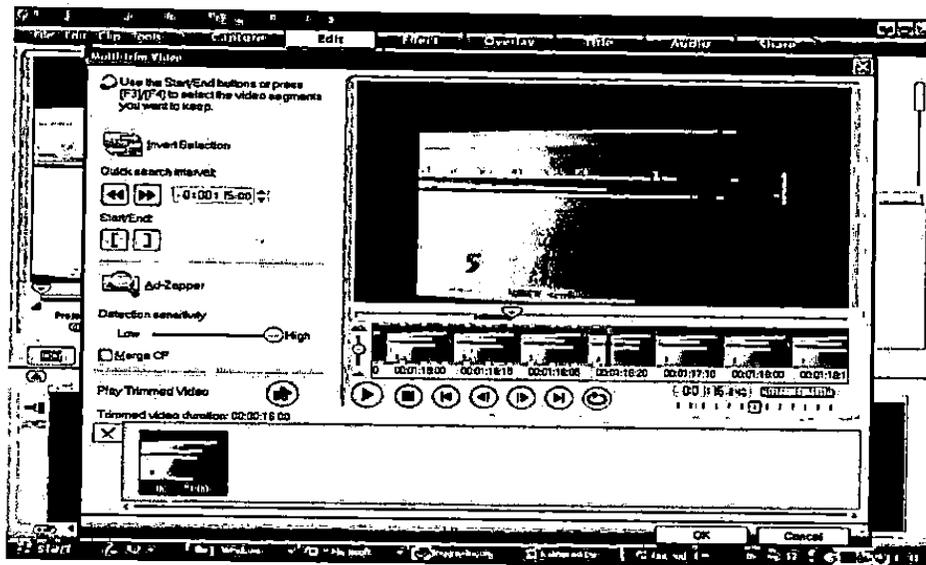


Gambar 4.16. Contoh pengelolaan data menggunakan *Sigview*

d. Grafik diamati dan dicocokkan dengan visualisasi video. Format video diubah terlebih dahulu dalam bentuk file *\*.avi* jika format video yang terekam dengan *video shooting* masih memiliki format selainnya.

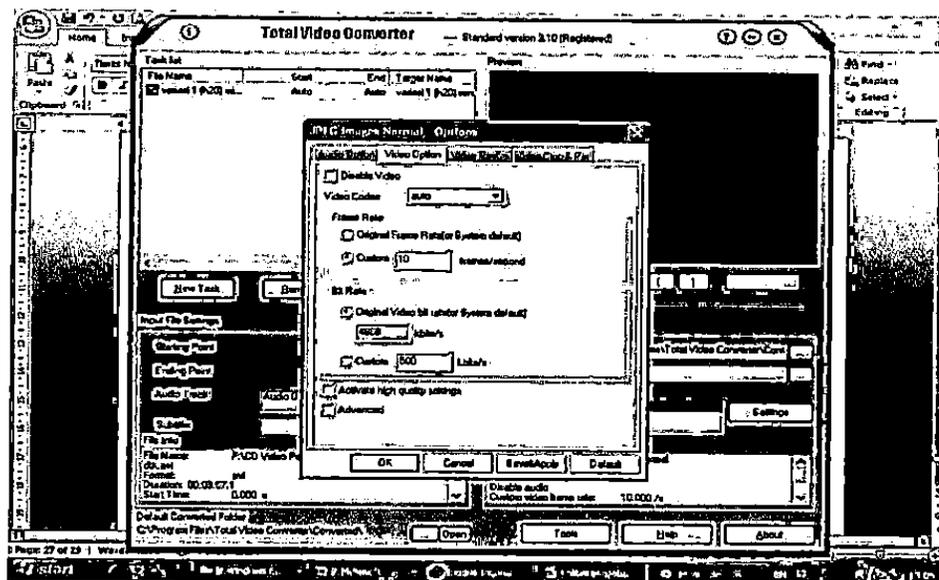
a. Grafik tiap variasi debit didetailkan kurang lebih per 0,5-2 detik kemudian masing-masing pendetailan disimpan menggunakan *short cut Clipboard* dalam format *\*.docx* (*Microsoft Word 2007*).

Pengamatan grafik ini dibarengi dengan pengamatan visualisasi video untuk menentukan durasi video selama 4 menit pengamatan sesuai lama waktu pengambilan data untuk tiap-tiap variasi debit uap yang diuji dengan menggunakan software *Ulead Video Studio 11*, yaitu dengan memilih *option Multi-trim Video*. Caranya yaitu dengan melihat fluktuasi beda tekanan yang menonjol pada detik-



Gambar 4.17. Contoh pemotongan video menggunakan *Ulead Video Studio 11* dengan pilihan option *Multi-trim Video*

- b. Untuk grafik dengan aliran *stratified* cukup dipilih mana fluktuasi beda tekanan yang menonjol. Adapun untuk grafik dengan aliran *wavy*, atau *wavy-slug*, grafik dicetak selama waktu yang terekan pada grafik (sekitar 140 detik), sehingga pengamatan fluktuasi beda tekanannya jadi lebih mudah.



Gambar 4.18. Contoh pengaturan *Video Options* pada *Total Video Converter*

- c. Beda tekanan yang dipilih dan dinilai penting untuk diamati visualisasinya dicocokkan dengan visualisasi videonya, yaitu dengan memotong video tersebut menggunakan software *Ulead Video Studio 11* selama durasi beda tekanan yang akan diamati. Selanjutnya video tersebut dipecah menjadi *frame-frame* gambar dengan format \*.jpg menggunakan software *Total Video Converter* dengan pengaturan *Video Option* yaitu *10 frames/second* dan *Video Resize* 1280 x 768 pixel.
- d. Jika beda tekanan dan visualisasi gambar sudah sesuai, maka hasil penelitian siap ditampilkan.

#### 4.4. Analisis Data

Pada penelitian ini akan diperoleh data tentang debit aliran uap dengan berbagai variasi, beda tekanan sepanjang pipa kondensor (pipa uji). Setelah diperoleh data tersebut dapatlah dilakukan analisa dengan bantuan suatu program komputer untuk mendapatkan, Interpretasi data sinyal beda tekanan untuk mendapatkan fenomena pada aliran