

# PURWARUPA SPIROMETER DIGITAL BERBASIS LABVIEW

Wahyu Sabani<sup>1</sup>, Budi Sumanto<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

E-mail: [budi.sumanto@ugm.ac.id](mailto:budi.sumanto@ugm.ac.id)

(\*) Corresponding Author

**Abstract** – Spirometer is an instrument used to measure the vital capacity of the human lung and is usually only found in large hospitals or clinical laboratories because of its relatively high price. However, to find out how this instrument works, a prototype of the spirometer is made by utilizing a Labview-based interface. This prototype was developed by making an air channel or funnel the size of a human mouth which then the air will be detected by a pressure sensor connected to a signal conditioning circuit and then the measurement information data is forwarded by the Arduino to a computer to be processed into digital data which is then converted into vital capacity information data. The results obtained from this research are that it can make a spirometer prototype according to its function which is hoped to be used as a learning medium in the field of medical instrumentation by measuring the vital capacity of the lungs in the form of height, age, and gender of a person, besides that the results are in the form of a graphic display. and numerical data from the measurement process on the GUI display in LabVIEW. This prototype was calibrated using a syringe with a volume of 2 liters and the accuracy rate was 99.63% with a standard deviation value of  $\pm 70.61$  ml and a precision value of 1.76% from these results.

**Keywords:** Arduino, Labview, Syringe, Spirometer

**Intisari** – Spirometer merupakan instrument yang digunakan untuk mengukur kapasitas vital paru-paru manusia dan biasanya hanya terdapat pada rumah sakit besar ataupun laboratorium klinik saja karena harganya yang relative mahal. Namun untuk mengetahui cara kerja dari instrument ini maka dibuatlah purwarupa dari spirometer dengan memanfaatkan antarmuka yang berbasis Labview. Purwarupa ini dikembangkan dengan membuat sebuah saluran atau corong udara seukuran mulut manusia yang kemudian udara tersebut akan dideteksi oleh sensor tekanan yang terhubung dengan rangkaian pengkondisi sinyal dan selanjutnya data informasi pengukuran diteruskan Arduino ke computer untuk diolah menjadi data digital yang kemudian dikonversi menjadi data informasi kapasitas vital paru-paru. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat membuat purwarupa spirometer sesuai dengan fungsinya yang harapannya dapat digunakan menjadi media pembelajaran di bidang instrumentasi medis dengan variabel pengukuran kapasitas vital paru-paru berupa tinggi badan, usia dan jenis kelamin seseorang, selain itu juga hasilnya berupa tampilan grafik dan data numeris dari proses pengukuran pada tampilan GUI di LabVIEW. Purwarupa ini dikalibrasi dengan menggunakan Syringe yang bervolume 2 liter diperoleh tingkat akurasi mencapai 99,63% dengan nilai standar deviasi adalah  $\pm 70,61$  ml serta nilai kepresisiannya mencapai 1,76% dari hasil ini purwarupa

**Keywords:** Arduino, LabVIEW, Syringe, Spirometer.

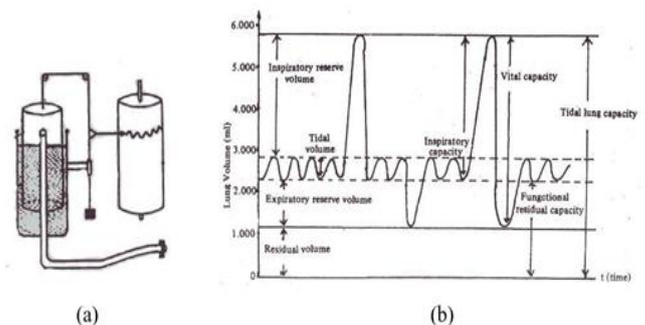
## I. PENDAHULUAN

Oksigen merupakan unsur yang sangat penting untuk makhluk hidup khususnya manusia dalam keberlangsungan hidup. Dalam kondisi tertentu kebutuhan oksigen dalam tubuh dapat diatur sesuai dengan kebutuhan dan ini tergantung dengan aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Organ tubuh manusia yang berfungsi sebagai media pertukaran gas O<sub>2</sub> (oksigen) dan CO<sub>2</sub> (Carbon dioksida) adalah paru-paru, sedangkan jantung akan memompa darah sekaligus mengantarkan O<sub>2</sub>. Karena tubuh manusia tidak dapat menghasilkan O<sub>2</sub> sendiri, maka dibutuhkanlah O<sub>2</sub> dari alam yang diperoleh dari proses bernafas yang dilakukan oleh manusia itu sendiri dimana dalam proses ini O<sub>2</sub> yang dihirup kemudian diganti dengan dikeluarkannya CO<sub>2</sub>. Selain dengan perkembangan teknologi elektronika yang semakin cepat khususnya di bidang medis sehingga memungkinkan pembuatan alat ukur kapasitas vital paru-paru manusia dengan memanfaatkan interaksi Arduino Uno dengan LabView.

Penelitian sebelumnya dimana memanfaatkan sensor tekanan MPX2010 dengan mengukur beda tekanan melalui alat tiup dengan menggunakan prinsip Bernoulli[1]. Penelitian selanjutnya dimana spirometer dibuat juga dengan menggunakan sensor tekanan MPX2010DP dengan metode orifice sehingga dapat mengukur *Forced Expiratory Volume in First (FEV1)* dan *Forced Vital Capacity (FVC)*[2]. Selain itu pemanfaatan sensor tekanan

MPX5050DP untuk mendeteksi tekanan darah[3] dan penggunaan sensor tekanan MPX2050 untuk mengukur volume paru-paru manusia berbasis mikrokontroler Atmega32 dengan menggunakan antarmuka Delphi[4].

Penggunaan spirometer pada dasarnya cukup mudah yaitu cukup dengan seseorang disuruh bernafas (menarik nafas dan kemudian menghembuskan nafas) dengan kondisi hidung orang tersebut ditutup. Dengan begitu perbedaan tekanan udara yang yang diberikan seseorang tersebut ketika bernafas dapat menyebabkan tabung yang berisi udara akan bergerak naik turun, sementara drum pencatat akan bergerak memutar (sesuai arah jarum jam) sehingga alat akan mencatat grafik pernafasan (sinyal respirasi) sesuai dengan gerak tabung yang berisi udara. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1.** (a) Spirometer air, (b) Spirogram

### a. Sistem Pernapasan manusia

Aktivitas menghirup dan menghembuskan udara dalam proses bernapas hanya menggunakan sekitar 500 cc volume udara pernapasan (kapasitas tidal  $\pm$  500 cc). Kapasitas tidal sendiri adalah jumlah udara yang keluar masuk ke dalam paru-paru pada saat pernapasan normal, akan tetapi dalam kondisi ekstrim atau saat berolah raga siklus pernapasan bisa mencapai sekitar 1500 cc udara pernapasan. Sehingga secara matematis kapasitas vital paru-paru (KTP) dapat ditentukan dengan mengukur hiperventilasi maksimal dalam satu menit atau dengan kata lain kapasitas vital (KV) ditambah dengan volume residu (VR) seperti pada persamaan (1) berikut ini.

$$\text{Kapasitas Total Paru-paru (KTP)} = \text{KV} + \text{VR} \quad (1)$$

Perhitungan kapasitas dan volume paru-paru terbagi menjadi 4 bagian yaitu Volume tidal, volume cadangan inspirasi, volume cadangan ekspirasi dan volume residu[5]. Sehingga metode sederhana untuk mengetahui besarnya kapasitas paru adalah merekam volume pergerakan udara yang masuk dan keluar dari paru-paru, dengan proses yang dinamai spirometri[5].

### b. Nilai Prediksi *Pneumobile Project* Indonesia (PPI)

Menghitung besar kapasitas vital paru-paru maksimal seseorang berdasarkan tinggi badan (TB), umur (U) dan jenis kelamin. FVC( Forced Vital Capacity) merupakan besar nilai kapasitas vital paru-paru seseorang yang dihembuskan secara paksa. FVC memiliki besar kapasitas vital yang sama dengan VC (Vital Capacity).

Nilai prediksi FVC untuk pria berdasarkan PPI memenuhi persamaan (2) berikut ini.

$$\text{FVC} = -5.44018 + 0.06114 * \text{U} + 0.04849 * \text{TB} + 1.62398 * \text{C} - 0.07768 * \text{C} * \text{U} \quad (2)$$

Sedangkan nilai FVC untuk wanita berdasarkan prediksi PPI dipenuhi dengan persamaan (3) berikut ini.

$$\text{FVC} = -3.37068 + 0.02824 * \text{U} + 0.03583 * \text{TB} + 1.00051 * \text{C} - 0.04546 * \text{C} * \text{U} \quad (3)$$

Dimana:

TB = Tinggi Badan (cm)

U = Umur (tahun)

C = Konstanta ( Umur  $\geq$  21 tahun, C = 1; Umur  $\leq$  21 tahun, C = 0)

Berdasarkan nilai yang diperoleh dari pengukuran FVC, nilai presentase kapasitas vital normal seseorang adalah  $\text{FVC} \geq 80\%$  dari nilai prediksinya[6].

### c. ADC

Analog to digital converter atau pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital (ADC) adalah suatu alat yang mampu untuk mengubah sinyal atau tegangan analog menjadi informasi digital yang nantinya akan diproses lebih lanjut dengan komputer. Perlu dicatat bahwa data-data digital yang dihasilkan ADC hanyalah merupakan pendekatan proporsional terhadap masukan analog. Hal ini karena tidak mungkin melakukan konversi secara sempurna berkaitan dengan kenyataan bahwa informasi digital berubah dalam step-step, sedangkan analog berubahnya secara kontinyu[7].

### d. LabVIEW

LabVIEW merupakan sebuah perangkat lunak pemrograman yang diproduksi oleh perusahaan National

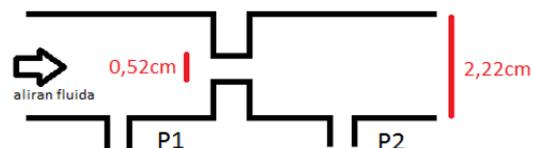
Instrument (NI). LabVIEW merupakan singkatan dari Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench dan pertama kali dikembangkan pada tahun 1986. LabVIEW memiliki perbedaan mendasar dibandingkan dengan bahasa pemrograman yang lainnya, dimana LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis sedangkan bahasa pemrograman lain seperti C, visual basic, dan MATLAB berbasis teks. Hingga saat ini LabVIEW telah terintegrasi dengan ribuan hardware dan ratusan library yang siap digunakan untuk berbagai bidang seperti instrumentasi, pengolahan sinyal, analisis dan visualisasi data.

### e. LIFA

LIFA (LabVIEW Interface for Arduino) merupakan interface khusus untuk pemrograman LabVIEW pada saat menggunakan hardware Arduino. LIFA dapat diunduh secara gratis setelah menginstal VIPM (Virtual Instrument Package Manager). VIPM adalah software aplikasi yang membantu mengunduh library atau paket yang diinginkan dari internet dan langsung menginstalnya pada LabVIEW

### f. Alat Tiup

Alat tiup dibuat dari pipa PVC, dimana bagian dalam pipa terdapat pipa berlubang kecil dari ukuran diameter pipa. Desain alat tiup ini ditunjukkan pada Gambar 2. Diameter pipa besar d1 adalah sebesar 2,22cm dan diameter pipa kecil d2 adalah 0,52cm.



Gambar 2. Desain Alat Tiup

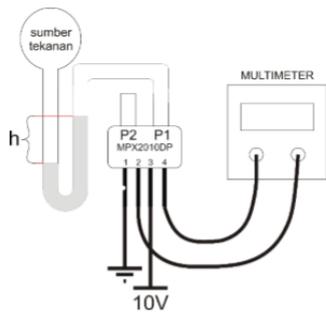
Rancangan pada Gambar 3 menggunakan jari-jari pipa 1 ( $r_1$ ) sebesar 1,11 cm, jari-jari pipa 2 ( $r_2$ ) sebesar 0,26cm, massa jenis udara sebesar 1,225 kg/m<sup>3</sup>, nilai Q atau kecepatan aliran fluida dapat dihitung menggunakan persamaan (4).

$$Q = \pi r_2^2 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^4 \right]}} \quad (4)$$

dimana : Q = kecepatan aliran fluida (m<sup>3</sup>/s); r = jari jari (m); P = tekanan fluida (Pa = kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)

### g. Sensor Tekanan MPX2010DP

Sensor ini mempunyai keakuratan dan kelinieran yang baik sehingga nilai tegangan keluarannya yang stabil terhadap perubahan tekanan yang diberikan. Sensor ini juga bekerja pada tekanan 0 sampai dengan 10 kPa. Tegangan keluaran sensor MPX2010DP yang dihasilkan berorde miliVolt (mV) dan sudah merupakan tekanan yang terkalibrasi. Kalibrasi sensor tekanan dilakukan tanpa menghubungkan sensor tekanan ke penguat operasional. Kalibrasi menggunakan manometer sederhana yang dihubungkan ke sensor tekanan. Manometer ini terbuat dari selang karet yang dibentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Kalibrasi sensor tekanan menggunakan manometer sederhana

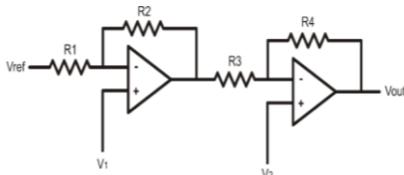
Manometer dapat mengukur tekanan positif maupun negatif. Untuk menghitung tekanan P pada sumber tekanan digunakan persamaan (5).

$$P = \rho \cdot g \cdot h \tag{5}$$

dimana P adalah tekanan (Pa),  $\rho$  adalah massa jenis cairan yang digunakan (kg/m<sup>3</sup>), g adalah kecepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>), dan h adalah ketinggian zat cair yang berubah akibat adanya tekanan (m).

h. Pengkondisi Sinyal

Rangkaian ini digunakan untuk memperkuat sinyal yang merupakan selisih dari kedua masukannya. Rangkaian penguat diferensial yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini



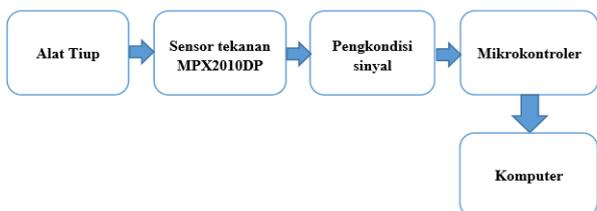
Gambar 4. Rangkaian Penguat Diferensial

i. Arduino Uno

Arduino Uno merupakan mikrokontroler board yang berdasarkan Atmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin masukan dan keluaran digital, 6 pin masukan analog, 16 MHz resonator keramik, sebuah koneksi Universal Serial Bus, sebuah Power Jack, sebuah ICSP header dan tombol reset. Semua ini dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler agar mudah dihubungkan ke sebuah computer dengan kabel USB atau tegangan AC-to-DC dengan menggunakan adapter atau baterai untuk menjalankan Arduino Uno.

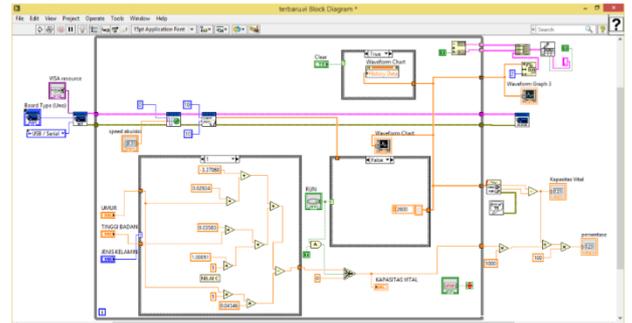
II. METODE PENELITIAN

Perancangan dari sistem perangkat keras secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Sedangkan perancangan untuk perangkat lunaknya seperti ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini



Gambar 6. Rancangan program untuk akuisisi data dan perhitungan pada labVIEW

Berdasarkan sistem yang telah dibuat maka perlu dilakukan pengujian sistem seperti pada langkah-langkah berikut ini:

1. Pengujian *Syringe* bervolume 4000 ml
  - a. Bertujuan untuk mengetahui volume udara yang terbaca oleh purwarupa alat ukur kapasitas vital paru-paru ini melalui interface LabVIEW dengan satuan mililiter, apakah sudah sesuai dengan nilai volume sebenarnya yang dikeluarkan.
  - b. Dilakukan dengan cara menghubungkan keluaran *syringe* ke dalam alat tiup purwarupa alat ukur.
  - c. Kemudian dilakukan tarikan dan dorongan pada gagang *syringe* diasumsikan seperti tarikan dan dorongan napas secara maksimal. Sehingga akan terbaca volume *syringe* pada interface LabVIEW.
  - d. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan volume *syringe* 4000ml.
  - e. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan nilai akurasi, standar deviasi dan presisi dari pengukuran alat ukur kapasitas vital paru-paru pada penelitian ini
2. Pengujian pada responden berdasarkan jenis kelamin
  - a. Bertujuan untuk mengetahui besar kapasitas vital paru-paru para responden.
  - b. Pengujian dilakukan dengan mengikuti metode pengambilan data.
  - c. Pengujian dilakukan dengan mengukur kapasitas vital paru-paru pada 5 orang laki-laki dan 5 orang perempuan
  - d. Hasil dari pengujian ini akan memperlihatkan besar nilai kapasitas vital paru-paru terhadap nilai prediksi

Setelah perancangan dan pengujian sistem telah selesai dilanjutkan dengan metode pengambilan data yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Responden diberi penjelasan dan cara melakukan inspirasi dalam sampai maksimal dan ekspirasi maksimal dengan kuat setelah melakukan perpasan normal untuk memperoleh kapasitas vital.
- Melakukan beberapa kali latihan dengan melakukan pernapasan normal kemudian menghirup dan menghembuskan napas secara maksimal secepatnya.
- Memasukkan data responden berupa tinggi badan (cm), umur (tahun) dan jenis kelamin.

- Meminta responden untuk mengambil posisi duduk tegap dengan kondisi nyaman.
- Meminta memulai pengukuran dengan mengawali inspirasi secara normal.
- Sesuai dengan aba-aba dari operator, responden mulai menarik napas sedalam-dalamnya dan kemudian menghembuskan secara cepat dan sebanyak-banyaknya ke dalam alat tiup.
- Ulangi pengambilan data sebanyak tiga kali dengan perbedaan tiap pengambilan kurang dari 5% dan data yang diambil adalah yang memiliki nilai ukur kapasitas vital yang mendekati nilai prediksi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian ini diperoleh beberapa informasi terkait sistem yang dibangun yaitu diantaranya adalah hasil pengujian alat ukur kapasitas vital paru-paru. Kalibrasi dengan menggunakan alat syringe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, yang dilakukan pada laboratorium Faal Departemen Fisiologi Fakultas Kedokteran UGM. Data diperoleh dengan cara alat tiup dipasang pada bagian keluaran udara syringe. Kemudian kalibrasi dilakukan dengan cara menarik dan mendorong gagang syringe, yang diasumsikan seperti proses pengambilan napas dan mengeluarkannya secara maksimal dan sebanyak-banyaknya. Dengan metode kalibrasi tersebut diperoleh volume udara yang melewati alat tiup sebanyak 4000ml (2000ml + 2000ml), nilai inilah yang akan digunakan sebagai pembanding untuk kalibrasi. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai ADC yang akan digunakan pada program. Hasil nilai ADC untuk kapasitas volume 4000 ml ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 7. Syringe berukuran 2000 ml

Tabel 1. Nilai ADC untuk pengukuran dengan syringe 4000 ml

No	Data ADC
1	644
2	690
3	650
4	658
5	750
6	675
7	768
8	752
9	687
10	694
$\bar{x}$	<b>696,8</b>

Dari hasil kalibrasi berupa nilai ADC yaitu 696,8 tersebut maka sebanding dengan volume 4000 ml, sehingga dapat diterjemahkan dengan persamaan 6 berikut ini

$$\text{volume kapasitas vital (ml)} = \frac{\text{ADC terbaca}}{696,8} \times 4000 \quad (6)$$

Untuk mengetahui akurasi dari alat yang dibuat diperoleh dari persamaan 7 berikut ini.

$$\text{akurasi} = 1 - \left| \frac{y - \bar{x}}{y} \right| \quad (7)$$

Sedangkan untuk mengetahui besaran nilai standar deviasi dari hasil pengujian alat yang dibuat dengan persamaan 8 berikut ini.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \quad (8)$$

Selanjutnya untuk mengetahui seberapa tingkat kepresisian pada hasil pengujian alat yang dibuat dapat diperoleh dengan persamaan 9 berikut ini.

$$kv\% = \frac{SD \times 100\%}{\bar{x}} \quad (9)$$

Dimana: kv% = koefisien varian; SD = Standar deviasi; x = hasil pengukuran; y = nilai yang diharapkan

Pada hasil pengujian pengukuran kapasitas vital paru-paru manusia, kemudian akan dihitung presentas. Tujuannya untuk mengetahui perbandingan besar kapasitas vital terhadap nilai prediksi dari masing-masing responden dalam satuan persen (%). Karena tingkat kesehatan paru-paru seseorang dapat dilihat dari presentase kapasitas vital paru-paru. Untuk menghitung presentase kapasitas vital dapat menggunakan persamaan 10 berikut ini.

$$\text{Kapasitas Vital}(\%) = \frac{\text{Kapasitas Vital Pengukuran}}{\text{Nilai Prediksi Kapasitas Vital}} \times 100\% \quad (10)$$

Berikut ini adalah hasil pengujian sistem keseluruhan dengan Syringe seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian dengan Syringe bervolume 4000 ml

No	Volume pada LabVIEW (ml)	Error (ml)
1	3927	-73
2	4129	129
3	4014	14
4	3957	-43
5	3928	-72
6	4075	75
7	3978	-22
8	4048	48
9	4075	75
10	3940	-60
11	4103	103
12	4003	3
Rata-rata hasil pengukuran		4014,75 ml
Rata-rata error hasil pengukuran		59,75 ml
Akurasi		99,63%
Standar Deviasi		70,61 ml
Presisi		1,76 %

Selanjutnya pengujian dengan bantuan responden yang dibagi berdasarkan jenis kelaminnya. Untuk hasil pengujian alat berdasarkan jenis kelamin laki-laki dengan jumlah responden adalah lima orang dapat dilihat pada Tabel 3.

Sedangkan hasil pengujian pada lima responden dengan jenis kelamin perempuan dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

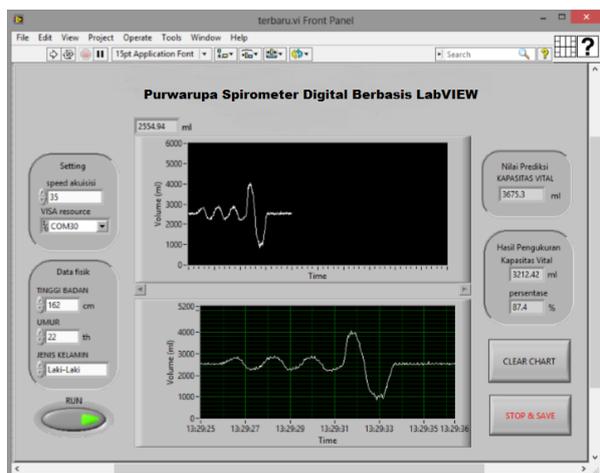
**Tabel 3.** Hasil Pengujian Purwarupa Spirometer Pada laki-laki

No	Responden	Umur (Tahun)	Tinggi Badan (cm)	Kapasitas Vital (ml)		Presentasi Kapasitas Vital (%)
				Hasil Pengukuran	Nilai Prediksi	
1	AA	22	167	3259,57	3917,75	83,2
2	AB	25	161	2585,10	2967,96	87,1
3	AC	22	162	3153,41	3675,3	85,8
4	AD	22	170	3283,11	4063,22	80,8
5	AE	23	166	3336,46	3852,72	86,6
Rata-rata hasil pengukuran kapasitas vital				3123,53 ml		
Standar Deviasi hasil pengukuran kapasitas vital				308,266 ml		

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Purwarupa Spirometer Pada Perempuan

No	Responden	Umur (Tahun)	Tinggi Badan (cm)	Kapasitas Vital (ml)		Presentasi Kapasitas Vital (%)
				Hasil Pengukuran	Nilai Prediksi	
1	BA	26	155	2322,66	2735,76	84,9
2	BB	21	155	2550,96	2821,86	90,4
3	BC	21	160	2529,85	3001,01	84,3
4	BD	25	156	2540,61	2788,81	91,1
5	BE	31	155	2352,90	2649,66	88,8
Rata-rata hasil pengukuran kapasitas vital				2459,4 ml		
Standar Deviasi hasil pengukuran kapasitas vital				111,783 ml		

Hasil pengukuran terhadap responden dalam bentuk grafik yang terbaca secara real time, sebagai hasil akuisisi dimana grafik tersebut menunjukkan proses bernapas melalui alat tiup yang kemudian menarik napas semaksimal mungkin dan selanjutnya menghembuskan semaksimal mungkin. Perubahan terkait kekuatan napas seseorang akan terpantau pada grafik tersebut dan hasilnya juga sesuai dengan pola pada Gambar 1(b). Berikut salah satu hasil pengukuran kapasitas vital paru-paru berupa grafik spirometer dari pengukuran salah satu responden terlihat pada Gambar 8 di bawah ini.



**Gambar 8.** Tampilan interface grafik kapasitas vital paru-paru

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat diambil beberapa simpulan terkait pembuatan purwarupa spirometer ini yaitu:

1. Sistem yang dibuat dengan pengujian 12 kali dengan menggunakan syringe bervolume 4000 ml memiliki tingkat akurasi sebesar 99,63% dengan nilai standar deviasi ±70,61 ml dan nilai presisinya adalah sebesar 1,76%.
2. Nilai standar deviasi untuk pengujian sistem dengan 5 orang responden dengan jenis kelamin laki-laki diperoleh sebesar ±308,266 ml dan 5 responden dengan jenis kelamin perempuan sebesar ±111,783 ml.
3. Hasil menunjukkan bahwa sistem yang dibuat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan apa yang diharapkan termasuk dalam pengujian menggunakan syringe maupun dengan responden orang.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Agarwal, V. Dan Ramachandran, N.C.S., 2008, Design and Development of a Low-Cost Spirometer with an Embedded Web Server, Int. J. Biomedical Engineering and Technology, 1, 4, 439-452
- [2] Lapono, Laura. A. S. (2011). Perancangan Spirometer Menggunakan Sensor Tekanan MPX2010DP. Tesis. Yogyakarta: UGM.
- [3] Widanti, N., Sumanto. B., Rosa, P., Fathur, M. (2015). Strees level detection using heart rate, blood pressure, and GSR and stress therapy by utilizing infrared. International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). Pune, India. ISBN: 978-1-4799-7165-7.IEEE
- [4] Adi, Dimas P.N. (2012). Purwarupa Alat Ukur Digital Volume Paru-paru Manusia Berbasis Atmega32 Menggunakan Sensor Tekanan MPX2050DP. Yogyakarta : UGM
- [5] Astrand, 1970. Fisiologi Tubuh Manusia. Translated by Guyton, AC. 1996. Jakarta : Binarupa Aksara
- [6] Bellamy, D., 2005, Spirometry in Practice a Practical Guide to Using Spirometry in Primary Care, Second Edition, The BTS COPD Consortium, London
- [7] Putro, A. E., 2003. Belajar Mikrokontroler AT 89C51/52/55, Yogyakarta : Gava Media