

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian menggunakan alat spirometer sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa mahasiswa FKUI *Anna Uyainah ZN, Zulkifli Amin, Feisal Thufeisyah (2014)* dengan hasil penelitian tentang pemeriksaan uji fungsi paru dengan menggunakan alat spirometer. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa uji fungsi paru dapat dilakukan untuk mengetahui kemampuan kerja fungsi paru dengan tes pernapasan dari hasil perbandingan volume dan kapasitas paru yang telah diujikan menggunakan alat spirometer. Pada penelitian ini hanya memaparkan hasil penggunaan pemakaian alat spirometri, tidak merancang dan bangun alat spirometri. Dari hasil pemeriksaan spirometri, dapat diketahui penilaian fungsi paru dari perbandingan nilai volume dan kapasitas paru yang biasanya memiliki dua pola gangguan pernapasan, yaitu gangguan *restriktif* dan *obstruktif*. Nilai Kapasitas Vital Paksa atau (*Forced Vital Capacity*) FVC yang didapat jika $\geq 80\%$ dari prediksi, maka diindikasikan termasuk pada kategori normal dan tidak terdapat gangguan *retriksif* maupun *obstriktif* [2].

Penelitian selanjutnya yaitu dengan judul “Perancangan Alat Ukur Volume Udara Pernapasan Manusia”, oleh *Atika Iqlimah (2013)*, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Dari penelitiannya tersebut menggunakan

sensor tekanan *MPX5100* dan dengan keluaran grafik serta hasil pengukuran volume udara pernapasan manusia ditampilkan di PC [5]. Menggunakan mikrokontroler *ATmega8* sebagai pengolah data dan pengontrol seluruh kinerja sistem. Kelebihan dari alat ini yaitu pengukur volume udara ini dirancang terdiri dari unit oengolah data dan unit penampil data menggunakan antarmuka serial rangkaia RS232. Dari hasil pengujian yang berupa volume udara pernapasan yang ditampilkan dalam bentuk grafik dan angka, didapatkan nilai kesalahan (*error*) pengujian tertinggi 18,24% sedangkan nilai kesalahan (*error*) rata-rata pengujian kesulurah alat 7,3%[5]. Penelitian ini menggunakan sensor tekanan *MPX5100* dengan hasil pembacaan yang kurang akurat.

Penelitian selanjutnya dibuat oleh *Prio Agung P. (2017)*, Jurusan D3 Teknik Elektromedik, Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta, dengan judul “Alat Ukur Kapasitas Paru-Paru”. Alat ini hanya mengukur kapasitas vital paru-paru saja dengan satuan liter dengan menggunakan sensor tekanan *MPX5100* dan berbasis *ATMega16* [6]. Kelebihan dari alat perancangan ini yaitu menggunakan baterai sebagai *supply* untuk memudahkan pembawaan alat dan untuk pengukuran. Dari hasil penelitian ini didapatkan rata-rata kesalahan (*error*) pada pengukuran kapasitas vital paksa yaitu 1,3%. Kekurangan pada alat ini dengan menggunakan sensor yang sama yaitu sensor tekanan *MPX5100GP* pada hasil pembacaan sensor yang kurang akurat dari rata-rata kealahan pengukuran, dan alat ini hanya untuk menghitung jumlah udara maksimal yang dihembuskan atau kapasital vital paru-paru manusia dengan mode pemeriksaan menghembuskan udara dengan paksa. Penulis juga menyarankan untuk menggunakan sensor aliran udara (*flowsensor*)

yang digunakan pada penulis pada penelitian saat ini yaitu rancang bangun alat spirometer.

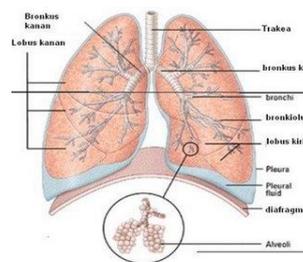
Dari beberapa penelitian tersebut, diketahui untuk mengetahui pembacaan volume dan kapasitas paru dengan menggunakan sensor tekanan *MPX5100* nilai hasil keluaran volume kurang akurat yang dilihat dari hasil rata-rata pengukuran[6]. Pada penelitian ini, penulis menggunakan sensor yang lebih baik agar pembacaan lebih akurat, penulis menggunakan sensor *differential pressure* yaitu *MPXV7002DP*. Keuntungan menggunakan sensor ini yaitu sensor ini menggunakan prinsip *differential* guna untuk mengetahui perbedaan pembacaan hembusan udara (ekspirasi) dan tarikan udara (inspirasi), tidak dengan sensor tekanan *MPX5100* yang hanya membaca hembusan udara (ekspirasi). Karena alat ini juga menghitung tarikan udara dengan parameter yang lain yaitu volume udara. Digunakan juga *flowsensor merk SpiroQuant* yang digunakan pada alat ventilator, guna mempresisikan hasil dengan alat pembanding spirometer dan memudahkan pembuatan perancangan *mouthpiece* pada alat spirometer. Alat ini juga dirancang dengan keluaran nilai angka pada *display LCD* dengan satuan mililiter.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Paru-Paru Manusia

Paru-paru adalah sebuah organ vital yang memiliki fungsi utama sebagai alat pernapasan atau respirasi dimana pada paru-paru terjadi proses pertukaran oksigen dengan karbondioksida. Pertukaran gas ini terjadi pada *alveolus* di dalam paru-paru melalui sistem kapiler [7]. Paru-paru berperan penting dalam membantu

sistem peredaran darah, oksigen di dalam paru-paru memiliki tekanan tinggi dan mengalir ke dalam darah akan mengikat *hemoglobin* pada sel darah merah. Karbondioksida memiliki tekanan tinggi dalam darah akan mengalir keluar. Paru-paru terletak pada rongga dada yang ujungnya berbentuk kerucut diatas tulang iga pertama. Paru-paru dibagi menjadi paru kanan dan paru kiri. Paru-paru kanan mempunyai tiga *lobus* sedangkan paru-paru kiri mempunyai dua *lobus*. Kelima *lobus* tersebut dapat terlihat dengan jelas [7].



Gambar 2.1 Anatomi Paru-paru

2.2.2 Sistem Pernapasan Manusia

Paru-paru dan dinding dada adalah struktur yang elastis. Dalam keadaan normal terdapat lapisan cairan tipis antara paru-paru dan dinding dada sehingga paru-paru dengan mudah bergeser pada dinding dada. Tekanan pada ruangan antara paru-paru dan dinding dada berada di bawah tekanan atmosfer. Paru-paru teregang dan berkembang pada waktu bayi baru lahir. Pada akhir ekspirasi tenang, cenderung terjadi “*recoil*” dinding dada yang diimbangi oleh kecenderungan dinding dada berkerut kearah yang berlawanan (Guyton, 2006). Kekuatan diafragma kearah atas membantu mengembalikan volume rongga pleura (Guyton, 2006). Pada waktu menarik napas dalam, maka otot berkontraksi, tetapi pengeluaran pernapasan dalam proses yang pasif. Ketika diafragma menutup

dalam, penarikan napas melalui isi rongga dada kembali memperbesar paru-paru dan dinding badan bergerak hingga diafragma dan tulang dada menutup ke posisi semula. Aktivitas bernapas merupakan dasar yang meliputi gerak tulang rusuk sewaktu bernapas dalam dan volume udara bertambah (Syarifuddin, 2001). Paru-paru merupakan struktur elastik yang mengempis seperti balon yang mengeluarkan semua udaranya melalui trakea bila tidak ada kekuatan untuk mempertahankan pengembangannya, tidak terdapat perlengketan antara paru-paru dan dinding rongga dada. Ketika melakukan pengembangan dan berkontraksi maka paru-paru dapat bergeser secara bebas karena terlumas dengan rata (Ganong, 2005). Inspirasi merupakan proses aktif kontraksi otot-otot. Inspirasi menaikkan volume *intratoraks*. Selama bernapas tenang, tekanan *intrapleura* kira-kira 2,5 mmHg relatif terhadap atmosfer. Pada permulaan, inspirasi menurun sampai -6mmHg dan paru-paru ditarik ke posisi yang lebih mengembang dan tertanam dalam jalan udara sehingga menjadi sedikit negative dan udara mengalir ke dalam paru-paru. Pada akhir inspirasi, *recoil* menarik dada kembali ke posisi ekspirasi dimana tekanan *recoil* paru-paru dan dinding dada seimbang. Tekanan dalam jalan pernapasan seimbang menjadi sedikit positif sehingga udara mengalir ke luar dari paru-paru (Syarifuddin, 2001). Pada saat inspirasi, pengaliran udara ke rongga pleura dan paru-paru berhenti sebentar ketika tekanan dalam paru-paru bersamaan bergerak mengelilingi atmosfer. Pada waktu penguapan, pernapasan volume sebuah paru-paru berkurang karena naiknya tekanan udara untuk memperoleh dorongan keluar pada sistem pernapasan (Syarifuddin, 2001). Selama pernapasan tenang, ekspirasi adalah pasif, dalam arti bahwa tidak ada otot yang

menurunkan volume unuk toraks berkontraksi. Pada permulaan ekspirasi, kontraksi ini menimbulkan kerja yang menahan kekuatan *recoil* dan melambatkan ekspirasi. Insiprasi yang kuat berusaha mengurangi tekanan intrapleura sampai 30 mmHg sehingga menimbulkan pengembangan paru-paru dengan derajat yang lebih besar[8].

2.2.3 Kapasitas Paru-Paru

Volume udara pernafasan pada setiap manusia berbeda- beda, bergantung pada ukuran paru- paru, kekuatan bernafas, cara bernafas. Orang dewasa, memiliki kapasitas ruang udara di paru- paru sekitar 3- 6 liter. Setiap laki-laki dan perempuan juga memiliki kapasitas yang berbeda disetiap individu. Salah satu contoh yang mempengaruhi yaitu seringnya berolahraga atau jarangny seseorang berohlaga dengan teratur. Berikut disajikan beberapa istilah dalam respirasi pada kapasitasnya :

1. Kapasitas Vital Paksa (FVC)

Forced Vital Capacity (FVC) atau kapasitas vital paksa merupakan udara maksimum yang dapat dihembuskan secara paksa dari pasien. Umumnya dicapai waktu 5 detik pertama untuk mengetahui suatu kapasitas vital paksa dari seseorang dengan nilai normal yaitu melebihi dari nilai prediksi 80% dari kapasitas vital paksa yang didapatkan setelah inspirasi se dalam-dalamnya. Faktor utama yang mempengaruhi kapasitas vital adalah bentuk anatomi tubuh, posisi selama pengukuran kapasitas vital, kekuatan otot pernafasan dan pengembangan paru dan rangka dada[10].

Volume udara normal dalam paru bergantung pada bentuk dan ukuran. Posisi tubuh juga mempengaruhi volume dan kapasitas paru, biasanya menurun bila berbaring, dan meningkat bila berdiri. Perubahan pada posisi ini disebabkan oleh dua faktor, yaitu kecenderungan isi abdomen menekan ke atas melawan diafragma pada posisi berbaring dan peningkatan volume darah paru pada posisi berbaring, yang berhubungan dengan pengecilan ruang yang tersedia untuk udara dalam paru[10]. Ada beberapa faktor utama yang mempengaruhi kapasitas vital paru :

- a. Posisi tubuh atau sikap seseorang pada saat pengukuran dilakukan.
- b. Kekuatan otot-otot pernapasan.
- c. Kemampuan paru dan rongga dada untuk berkembang.
- d. Ukuran dan bentuk anatomi tubuh.
- e. Umur, jenis kelamin, berat badan dan tinggi badan.
- f. Kondisi kesehatan dan status gizi.
- g. Riwayat pekerjaan dan lingkungan tempat tinggal.

2. Kapasitas Inspirasi (IC)

Kapasitas Inspirasi sama dengan volum tidal ditambah volume cadangan inspirasi. Jumlah udara yang dapat dihirup seseorang dimulai pada tingkat ekspirasi normal dan pengembangan paru sampai jumlah maksimum, kira-kira 3000 ml.

1. Kapasitas laki-laki = 3600 ml.
2. Kapasitas wanita = 2400 ml.

3. Kapasitas vital (VC)

Kapasitas vital sama dengan volum cadangan inspirasi ditambah volum tidal dan volum cadangan ekspirasi. Ini adalah jumlah udara maksimum yang dapat dikeluarkan seseorang dari paru setelah terlebih dahulu mengisi paru secara maksimum dan kemudian mengeluarkan sebanyak-banyaknya (kira-kira 3500 mililiter). Nilai ini memberikan informasi yang berguna mengenai kekuatan otot-otot pernapasan dan aspek fungsi paru lainnya.

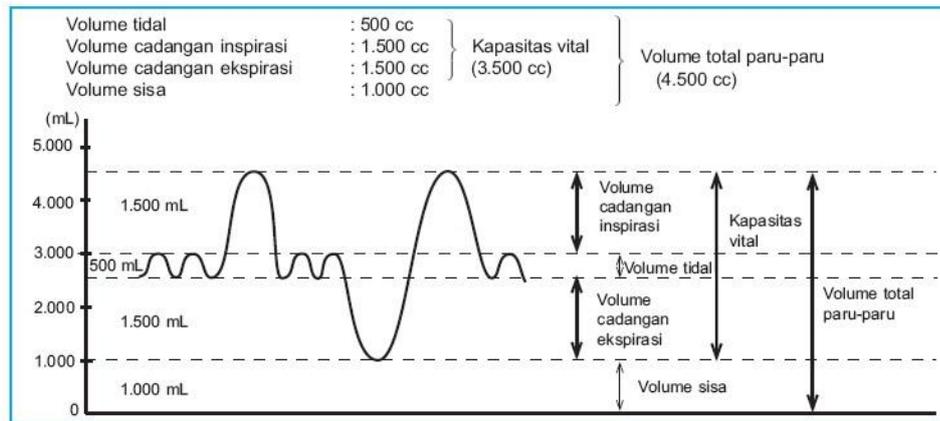
1. Kapasitas laki-laki = 4800 ml.
2. Kapasitas wanita = 3100 ml.

4. Kapasitas Total Paru- paru (TLC)

Volum maksimum yang dapat mengembangkan paru sebesar mungkin dengan inspirasi sekuat mungkin (kira-kira 4500 mililiter); jumlah ini sama dengan kapasitas vital ditambah volum residu

1. Kapasitas laki-laki = 6000 ml.
2. Kapasitas wanita = 4200 ml [9]

Volum dan kapasitas paru pada perempuan kira-kira 20 sampai 25 persen lebih kecil daripada laki-laki, dan lebih besar lagi pada orang yang atletis dan bertubuh besar daripada orang yang bertubuh kecil dan astenis. Volum pernapasan semenit adalah jumlah total udara baru yang masuk ke dalam saluran pernapasan tiap menit, sama dengan volum tidal dikalikan dengan frekuensi pernapasan permenit. Volum tidal normal kira-kira 500 mililiter dan frekuensi pernapasan normal kira-kira 12 kali permenit sehingga rata-rata volum pernapasan adalah 6 liter/menit [9].



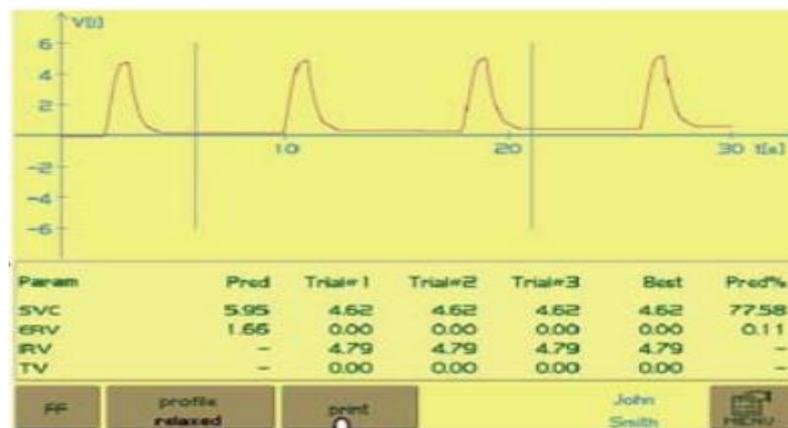
Gambar 2.2 Volum dan Kapasitas Paru-paru

2.2.4 Spirometer

Spirometer secara harfiah berarti “pengukuran napas seseorang.” Tujuan dari tes yang merupakan salah satu tindakan yang paling sering dianjurkan untuk pasien dengan masalah paru-paru ini, adalah untuk mengukur fungsi paru-paru, yaitu dalam hal volume dan aliran udara yang dapat dihembuskan atau dihirup oleh seseorang. Data yang dihasilkan dari tindakan ini disebut *pneumotachographs*, yang dapat digunakan untuk memeriksa dan menilai kondisi tertentu. Tindakan pengujian ini dilakukan dengan menggunakan spirometer, yang mengukur volume dan kapasitas udara yang dihembuskan dan dihirup oleh paru-paru, serta peredaran udara pada paru-paru. Kebanyakan jenis spirometer dapat mengidentifikasi dua jenis pola peredaran udara yang mungkin mengindikasikan kelainan pada paru-paru: *restriktif* dan *obstruktif*. Terdapat berbagai jenis spirometer, yang menggunakan berbagai metode untuk mengukur aliran udara dan volume, seperti meteran air, ultrasonic, dan tekanan transduser. Spirometer dapat menghasilkan dua jenis grafik, yaitu: kurva volume waktu (dengan waktu

dalam detik di sumbu x, dan volume dalam liter di sumbu y) dan lingkaran aliran volum (representasi grafis dari total volum yang terhirup/terhembus pada sumbu x dan tingkat aliran pada sumbu y) [11].

Terdapat dua cara untuk melakukan pemeriksaan melalui alat spirometer, yaitu *Relax Mode* dan *Forced Mode*. Pada pemeriksaan *Relaxed Mode* pasien diminta untuk bernapas secara normal sebanyak 3 kali (*mouthpiece* sudah terpasang dimulut) bernafas dengan normal, menarik napas dalam-dalam dan kemudian dihembuskan secara perlahan dan maksimal. Sementara pada *Forced Mode*, pasien diminta untuk menarik napas dalam-dalam sebelum *mouthpiece* dimasukkan ke dalam mulut dan kemudian dihembuskan secara habis dan maksimal. Spirometer dilakukan untuk mengukur fungsi paru. Pengukuran fungsi paru yang dilaporkan jika pada pemeriksaan pada alat spirometer lainnya disebut juga pada mode pemeriksaan *relaxed mode*, yaitu volume statik. Volume statik terdiri dari Volume Tidal (TV/ *Tidal Volume*), Volume Cadangan Inspirasi (IRV/ *Inspiratory Residual Volume*), Volume Cadangan Ekspirasi (ERV/ *Expiratory Residual Volume*), Volume Residu (RV/ *Residual Volume*), Kapasitas Paru Total (TLC/ *Total Lung Capacity*), Kapasitas Vital (VC/ *Vital Capacity*), Kapasitas Inspirasi (IC/ *Inspiratory Capacity*), Kapasitas Residu Fungsional (FRC/ *Functional Residual Volume*) [2]. Volume Dinamis yang terdiri dari Kapasitas Vital Paksa (*Forced Vital Capacity/FVC*). Pengukuran fungsi paru yang dilaporkan pada pemeriksaan *forced mode*, yaitu dengan hasil Kapasitas Vital Paksa (*Forced Vital Capacity*).



Gambar 2.3 Grafik Hasil Pengukuran Spirometri

2.2.5 Sensor MPXV7002DP

Seri MPXV7002 *transduser piezoresistif* adalah keadaan seni monolitik sensor. Tekanan silikon dirancang untuk berbagai aplikasi, tetapi khususnya mereka yang menggunakan mikrokontroler atau mikroprosesor dengan masukan A / D. Transduser ini menggabungkan teknik *micromachining* canggih, *metalisisasi thinfilm*, dan pemrosesan bipolar untuk memberikan tingkat yang akurat dan tinggi, sinyal output analog juga menghasilkan nilai yang sebanding dengan tekanan yang diterapkan [13].



Gambar 2.4 MPXV7002DP Sensor

Tabel 2.1 Karakteristik Datasheet MPXV7002DP Sensor

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	-2.0	—	2.0	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	Vdc
Supply Current	I_o	—	—	10	mAdc
Pressure Offset ⁽³⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{off}	0.25	0.5	0.75	Vdc
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSO}	4.25	4.5	4.75	Vdc
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ $V_S = 5.0$ Volts	V_{FSS}	3.5	4.0	4.5 V	Vdc
Accuracy ⁽⁶⁾	—	—	$\pm 2.5^{(7)}$	± 6.25	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	1.0	—	V/kPa
Response Time ⁽⁸⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{O+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁹⁾	—	—	20	—	ms

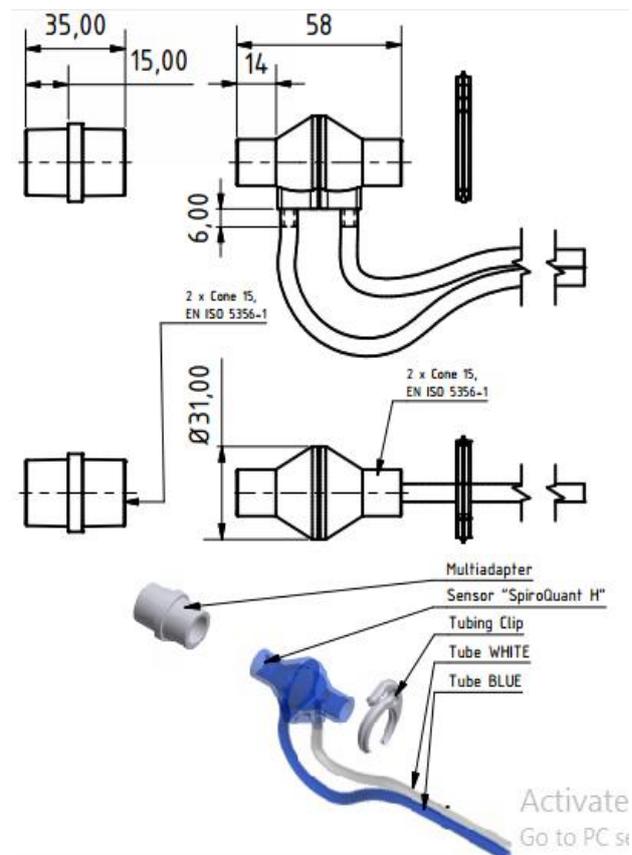
1. 1,0 kPa (kilo*Pascal*) sama dengan 0,145 *psi*.
2. Perangkatnya adalah ratiometric dalam rentang eksitasi yang ditentukan ini.
3. Output Skala Penuh (*VFSO*) didefinisikan sebagai tegangan output pada tekanan nilai maksimum atau penuh.
4. *Offset* (*Voff*) didefinisikan sebagai tegangan output pada tekanan pengenal minimum.
5. *Full Scale Span* (*VFSS*) didefinisikan sebagai perbedaan aljabar antara tegangan output pada tekanan pengenal penuh dan tegangan output pada tekanan pengenal minimum.
6. Respons Waktu didefinisikan sebagai waktu untuk perubahan tambahan dalam *output* dari 10% hingga 90% dari nilai akhir ketika digunakan pada langkah perubahan yang ditentukan dalam tekanan. [13]

2.2.6 *Flowsensor SpiroQuant*

Flow sensor *SpiroQuant* H (*Hamilton*) adalah aliran pasif konverter tekanan diferensial untuk mengukur gas pernapasan mengalir sehubungan dengan

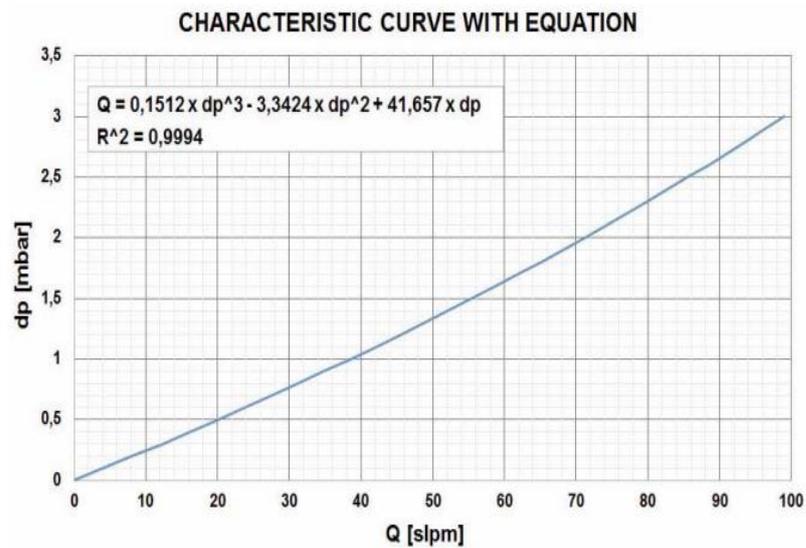
unit pengukur yang tepat (pengukur tekanan diferensial). Desain sensor khusus dicirikan oleh tingkat presisi maksimum yang mungkin. Sensor ini digunakan untuk penggunaan pasien tunggal pada pasien dewasa.

1. Konverter aliran Diferensial Pasif yang terbukti.
2. Mengukur aliran gas pernapasan pada aplikasi dewasa.
3. Sistem manajemen mutu bersertifikat sesuai EN ISO 1348.



Gambar 2.5 Flowsensor SpiroQuant Hamilton

Karakteristik kurva *Flowsensor* dan untuk mengetahui luas penampang dilihat pada gambar 2.6



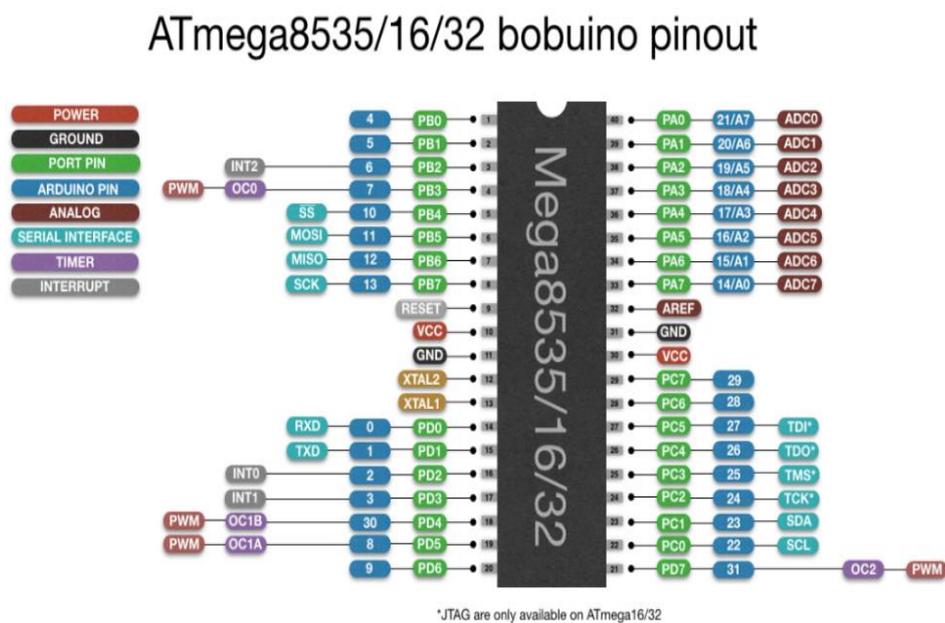
Gambar 2.6 Karakteristik rumus pembaca kurva flowsensor

2.2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah chip yang dapat melakukan pemrosesan data secara digital serta pengontrolan rangkaian elektronik sesuai dengan perintah bahasa tertentu yang disimpan pada IC. Mikrokontroler dilengkapi dengan *Central Processing Unit (CPU)*, memori internal serta sarana *input/output (I/O)*. *Microcontroller* lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan *Read-Only Memory (ROM)*, *Read-Write Memory (RAM)*, beberapa *port* masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti pencacah/pewaktu, *Analog to Digital converter (ADC)*, *Digital to Analog converter (DAC)* dan serial komunikasi. Mikrokontroler memiliki tipe yang berbeda tergantung pada kegunaannya. Dalam perkembangan teknologi, mikrokontroler tipe ATmega32 sangat dibutuhkan. Berbeda dengan mikroprosesor, *microcontroller* menyediakan memori dalam *chip* yang sama dengan prosesornya (*in chip*).

2.2.8 ATmega32

Mikrokontroler ATMEGA32 adalah mikrokontroler yang diproduksi oleh Atmel. Mikrokontroler ini memiliki *clock* dan kerjanya tinggi sampai 16 MHz, ukuran *flash* memorinya cukup besar 32 KiloByte *flash* memori untuk menyimpan program, kapasitas SRAM sebesar 2 KiloByte, 32 buah port I/O yang sangat memadai untuk berinteraksi dengan LCD dan keypad[14]. Berikut ini adalah gambar karakteristik pengaturan port pada IC ATmega32 pada *Arduino* :



Gambar 2.7 Setting Port IC ATmega 32

a. Deskripsi Mikrokontroler ATmega32

Penjelasan gambaran pin pada mikrokontroler IC ATmega32 adalah sebagai berikut :

1. VCC (*Power Supply*) dan GND (*Ground*)
2. Port A (PA7..PA0)

Port A berfungsi sebagai input analog pada konverter A/D. *Port A* juga sebagai suatu port I/O 8-bit dua arah, jika A/D konverter tidak digunakan. Pin - pin *Port* dapat menyediakan resistor internal *pull-up* (yang dipilih untuk masing-masing bit). *Port A output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Ketika pin PA0 ke PA7 digunakan sebagai input dan secara eksternal ditarik rendah, pin-pin akan memungkinkan arus sumber jika resistor internal *pull-up* diaktifkan. *Port A* adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

3. *Port B* (PB7..PB0)

Pin B adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Pin B *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai *input*, Pin B yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin B adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

4. *Port C* (PC7..PC0)

Pin C adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Pin C *output buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya *sink* tinggi dan

kemampuan sumber. Sebagai input, pin C yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. pin C adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi *reset* menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

5. Port D (PD7..PD0)

Pin D adalah suatu pin I/O 8-bit dua arah dengan resistor *internal pull-up* (yang dipilih untuk beberapa bit). Pin D output *buffer* mempunyai karakteristik gerakan simetris dengan keduanya sink tinggi dan kemampuan sumber. Sebagai input, pin D yang secara eksternal ditarik rendah akan arus sumber jika resistor *pull-up* diaktifkan. Pin D adalah *tri-stated* manakala suatu kondisi reset menjadi aktif, sekalipun waktu habis.

6. RESET (Reset input)

Merupakan pin yang digunakan untuk me-*reset* program penjalanan pada mikrokontroler.

7. XTAL1 (Input Oscillator)

8. XTAL2 (Output Oscillator)

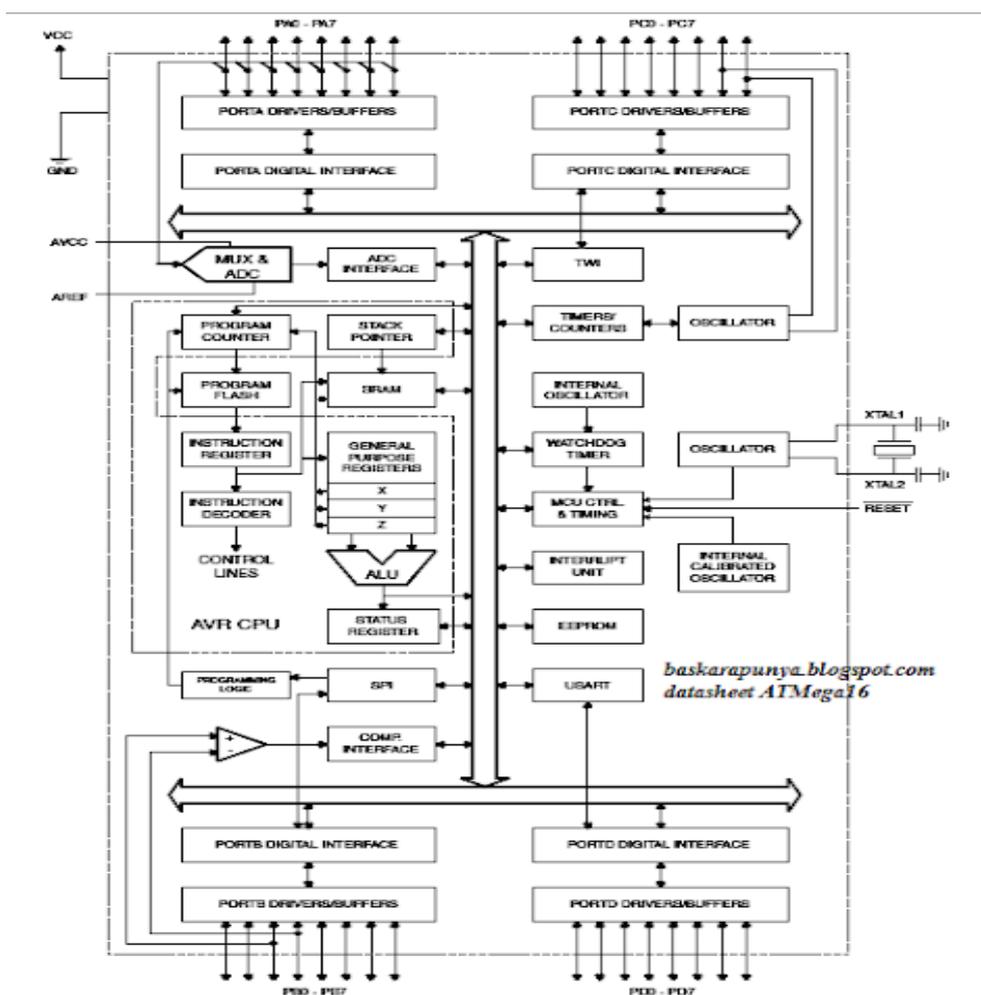
9. AVCC

Pin ini berfungsi sebagai *supply* tegangan untuk ADC. Untuk pin ini harus dihubungkan secara terpisah dengan VCC karena pin ini digunakan untuk analog saja. Bahkan jika ADC pada AVR tidak

digunakan tetap saja disarankan untuk menghubungkannya secara terpisah dengan VCC.

10. AREF

pin masukan tegangan referensi analog untuk konverter ADC.



Gambar 2.8 Blok Diagram IC ATmega 32

b. Peta Memori ATmega32

Memori Program Arsitektur ATmega32 mempunyai dua memori utama, yaitu memori data dan memori program. ATmega32 memiliki 32K

byte On-chip In-System Reprogrammable Flash Memory untuk menyimpan program. Memori *flash* dibagi kedalam dua bagian, yaitu bagian program *boot* dan aplikasi. *Bootloader* adalah program kecil yang bekerja pada saat sistem dimulai yang dapat memasukkan seluruh program aplikasi ke dalam memori prosesor[14].

1. Memori Data (SRAM)

ATMEGA32 memiliki 2 KiloByte SRAM. Memori ini dipakai untuk menyimpan variabel. Tempat khusus di SRAM yang senantiasa ditunjuk register SP disebut *stack*. *Stack* berfungsi untuk menyimpan nilai yang ditekan.

2. Memori Data (EEPROM)

ATMEGA32 memiliki 1024 *byte* data EEPROM. Data di EEPROM tidak akan hilang walaupun catuan daya ke sistem mati. Parameter sistem yang penting disimpan di EEPROM. Saat sistem pertama kali menyala parameter tersebut dibaca dan sistem di inialisasi sesuai dengan nilai parameter tersebut.

3. Interupsi

Sumber interupsi ATMEGA32 ada 21 buah. Tabel 2 hanya menunjukkan 10 buah interupsi pertama. Saat interupsi diaktifkan dan interupsi terjadi maka CPU menunda instruksi sekarang dan melompat ke alamat rutin interupsi yang terjadi. Setelah selesai mengeksekusi

intruksi-instruksi yang ada di alamat rutin interupsi CPU kembali melanjutkan instruksi yang sempat tertunda.

4. USART

Selain untuk general I/O, pin PD1 dan PD0 ATMEGA32 berfungsi untuk mengirim dan menerima bit secara serial. Perubahan fungsi ini dibuat dengan mengubah nilai beberapa register serial. Untuk menekankan fungsi ini, pin PD1 disebut TxD dan pin PD0 disebut RxD. Nilai UBRR dan *clock* sistem menentukan laju bit pengirim dan penerima serial.

2.2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*) 4x20

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan suatu karakter, baik itu angka, huruf atau karakter tertentu, sehingga tampilan tersebut dapat dilihat secara visual. Pemakaian LCD sebagai tampilan banyak digunakan karena daya yang dibutuhkan LCD relatif kecil (*orde micro watt*), meskipun pada modul ini dibatasi oleh sumber cahaya eksternal/internal, suhu dan jangka hidup. Pada penelitian ini akan digunakan LCD karakter 20x4 [15]



Gambar 2.9 LCD karakter 4x20

Berikut karakteristik dari LCD karakter 20x4:

1. 20 Karakter dan 4 Baris tampilan kristal cair (LCD) dari dot matrik.
2. ROM pembangkit karakter untuk 192 tipe karakter (5x7 dot matrik).
3. Mempunyai 2 jenis RAM, yaitu RAM pembangkit karakter dan RAM data tampilan.
4. RAM pembangkit karakter untuk 8 tipe karakter program tulis dengan bentuk 5 x7 dot matrik.
5. RAM data tampilan dengan bentuk 80 x 8 matrik titik (maksimum 80 karakter).
6. Mempunyai pembangkit *clock* internal.
7. Catu daya 5 Vdc.

2.2.10 Teknis Analisis Data

Berikut ini akan dijelaskan rumus dari perhitungan yang penulis gunakan pada penelitian kali ini :

a. Rata – rata

Rata-rata adalah nilai atau hasil pembagian dari jumlah data yang diambil atau diukur dengan banyaknya pengambilan data atau banyaknya pengukuran.

$$\boxed{\text{Rata – Rata } (\bar{X}) = \frac{\sum Xi}{n}} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

\bar{X} = Rata – rata

$\sum Xi$ = Jumlah nilai data

n = Banyak data (1,2,3,...,n)

b. Error (%)

Error (kesalahan) adalah selisih antara *mean* terhadap masing – masing data. Rumus *error* adalah :

$$\text{Error \%} = \left(\frac{\text{Data Setting} - \text{Rata-rata}}{\text{Data Setting}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2-2)$$

c. Simpangan

Simpangan adalah selisih dari rata-rata nilai harga yang dikehendaki dengan nilai yang diukur. Rumus simpangan adalah :

$$\text{Simpangan} = Y - \bar{X} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

Y = nilai *setting*

\bar{X} = Rata – rata