

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang alat spirometer sebelumnya pernah dibuat oleh *Kemalasari, Paulus Paulus Susetyo Wardana, Ratna Adil (2016)* mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), dengan judul *Spirometer Non-Invasive dengan Sensor Piezoelektrik untuk Deteksi Kesehatan Paru-paru*. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu mengukur laju aliran pernapasan, kapasitas vital paru-paru dan kondisi secara otomatis dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD grafis. Pada penelitian ini menggunakan IC mikrokontroler ATmega32 sebagai pengendali serta sensor yang digunakan yaitu sensor *piezoelektrik*. Desain penelitian alat ini sensor *piezoelektrik* ini dipasangkan pada bagian kanan dada sebagai input untuk mendeteksi perubahan tekanan di dada akibat adanya perubahan gerakan dada ketika bernapas kemudian dikuatkan oleh amplifier, *noise* pada sinyal respirasi di filter. Sinyal-sinyal tersebut diolah di mikrokontroler dan dikonversi dari analog ke digital. Hasilnya akan ditampilkan pada LCD grafis. Akan tetapi, kekurangan pada penelitian ini pengukuran volume dengan cara *non invasive* melalui permukaan dada kurang efektif dilakukan, karena umumnya spirometer mengukur volume paru melalui hembusan napas melalui mulut dan hidung dalam keadaan tertutup [5].

Mikki Fahrizi Maharrahman (2016) mahasiswa Poltekkes Kemenkes Surabaya pernah melakukan penelitian dengan judul Monitoring Laju Pernapasan berbasis Personal Computer (PC) dilengkapi Volume Pernapasan. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa mengukur laju pernapasan dan volume pernapasan per menit menggunakan teknik seperti spirometer kemudian hasil ditampilkan grafik berupa frekuensi pernapasan per menit dan volume pernapasan per menit pada *Personal Computer* (PC). Penelitian ini menggunakan sensor tekanan MPX5100 GP dan mikrokontroler ATmega32 sebagai pengendali. Desain penelitian ini sensor tekanan MPX5100 GP yang dipasangkan pada *mouthpiece* keluaran dari sensor akan dikuatkan oleh amplifier dan sinyal tersebut diolah di mikrokontroler ATmega32 kemudian di konversi dari sinyal analog menjadi digital. Hasil keluarannya dalam bentuk angka dan grafik volume pada PC. Pada penelitian ini hanya mengukur volume paru-paru dengan parameter volume tidal saja [6].

Atika Iqlimah (2012) mahasiswa Universitas Brawijaya merancang Alat Ukur Volume Udara Pernapasan Manusia Berbasis Mikrokontroler. Penelitian ini *Mouthpiece* sudah tersambung dengan sensor tekanan MPX5100 akan menangkap hembusan napas dari objek, dikuatkan oleh Op-Amp dan data tersebut dikonversi di mikrokontroler menjadi *volumetric flow rate (Q)* ditampilkan dalam bentuk grafik pada monitor. Nilai Q diubah menjadi volume (V) dengan metode integral numerik dan nilai hasil pengukuran ditampilkan pada monitor dalam bentuk angka. Pengujian dilakukan untuk menganalisis tingkat ketepatan perhitungan volume. Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan tertentu, dengan

menggunakan *syringe* ukuran 500 mL, kemudian membandingkan hasilnya dengan hasil pengukuran pada layar computer [7].

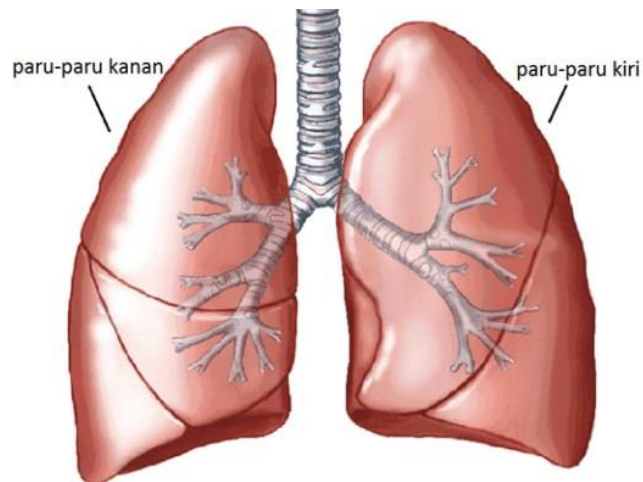
Dari beberapa penelitian tersebut, alat ukur yang digunakan menggunakan metode yang berbeda, pada penelitian ini penulis menggunakan *flow sensor* sebagai *mouthpiece* yang terhubung dengan sensor MPXV7200DP yang mana merupakan input pengambilan data dengan mengukur jumlah volume udara dalam paru-paru melalui hembusan napas. Sensor tekanan MPXV7002 DP dihubungkan langsung dengan mikrokontroler ATmega32 sebagai pusat pengendali dan pengolah data. Hasil pengukuran volume paru-paru ditampilkan pada LCD 4x20 dalam bentuk angka. Penulis juga menggunakan baterai dan modul *charger* untuk memudahkan pengguna dalam pengisian ulang apabila daya baterai habis.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Paru-paru

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*. 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 [8].

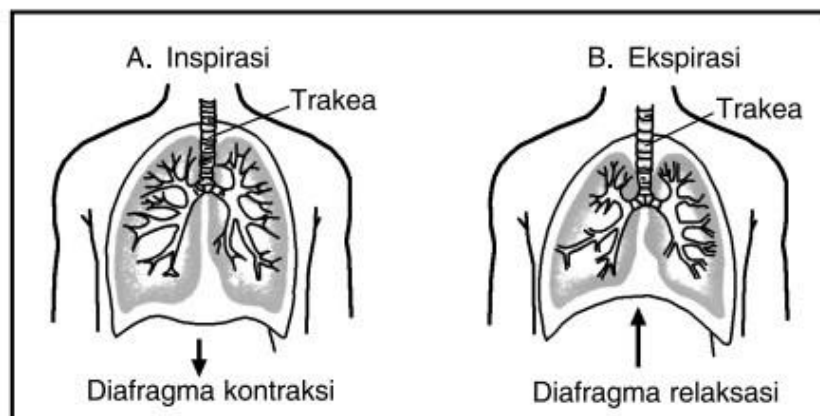
Paru-paru terletak pada rongga dada yang ujungnya berbentuk kerucut diatas tulang iga pertama. Paru-paru dibagi menjadi paru kanan dan paru kiri. Paru-paru kanan mempunyai tiga lobus sedangkan paru- paru kiri mempunyai dua *lobus*. Anatomi paru-paru dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Anatomi Paru-paru [9].

2.2.2 Mekanisme Pernapasan

Sistem pernapasan manusia mencakup semua proses pertukaran gas dari udara luar melalui rongga hidung sampai dengan pertukaran gas terjadi di *alveolus*. Dalam pernapasan dibagi menjadi 2 fase dan 2 metode yang digunakan dalam proses tersebut, yaitu fase inspirasi dan ekspirasi. Sedangkan metode yang digunakan yaitu pernapasan dada dan pernapasan diafragma. Mekanisme pernapasan dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Mekanisme Pernapasan [10].

Pernapasan dada adalah proses yang melibatkan antar otot-otot tulang rusuk. Pada fase inspirasi oksigen yang masuk menyebabkan rongga dada berkontraksi sehingga tulang-tulang rusuk terangkat ke atas dan volume paru-paru membesar. Sedangkan fase ekspirasi rongga dada berelaksasi sehingga tulang-tulang rusuk mengempis dan volume paru-paru menurun.

Pada pernapasan diafragma fase inspirasi dimulai Bergeraknya *abdomen* ke arah luar yang menyebabkan kontraksi otot *diafragma* yang turun ke bawah secara mendatar, sehingga rongga dada membesar, volume udara membesar dan tekanan udara di paru-paru menurun. Pada fase ekspirasi otot-otot *diafragma* berelaksasi dengan cara mengendur dan cenderung melengkung ke atas. Sehingga volume udara dan rongga dada mengecil dan tekanan udara di dalam paru-paru menjadi lebih tinggi [10].

2.2.3 Volume dan Kapasitas Paru-paru

Volume paru-paru merupakan proses yang digunakan dalam mengukur jumlah udara pada fungsi tertentu. Volume paru-paru terdiri dari 4 bagian, diantaranya :

1. *Tidal Volume* (TV) adalah jumlah volume udara yang dapat dimasukkan dan dikeluarkan oleh paru-paru setiap pernapasan normal. Jumlah volume udara untuk laki-laki $\pm 500 \text{ ml}$ dan perempuan $\pm 380 \text{ ml}$.
2. *Inspiratory Reserve Volume* (IRV) adalah jumlah volume udara yang diperoleh saat menarik napas dengan maksimal sampai akhir volume tidal. Pada laki-laki biasanya mencapai 3.100 ml dan perempuan 1.900 ml .

3. *Expiratory Reserve Volume (ERV)* adalah jumlah volume udara yang diperoleh saat menghembuskan napas dengan maksimal sampai akhir volume tidal. Pada laki-laki biasanya mencapai 1.200 ml dan perempuan 800 ml.
4. *Residual Volume (RV)* adalah volume udara yang masih tetap berada di dalam paru-paru setelah menghembuskan napas secara maksimal. Volume residu sangat penting untuk kelangsungan arerasi dalam darah saat jeda pernapasan. Jumlah volume residu pada laki-laki biasanya 1.200 ml dan perempuan 800 ml.

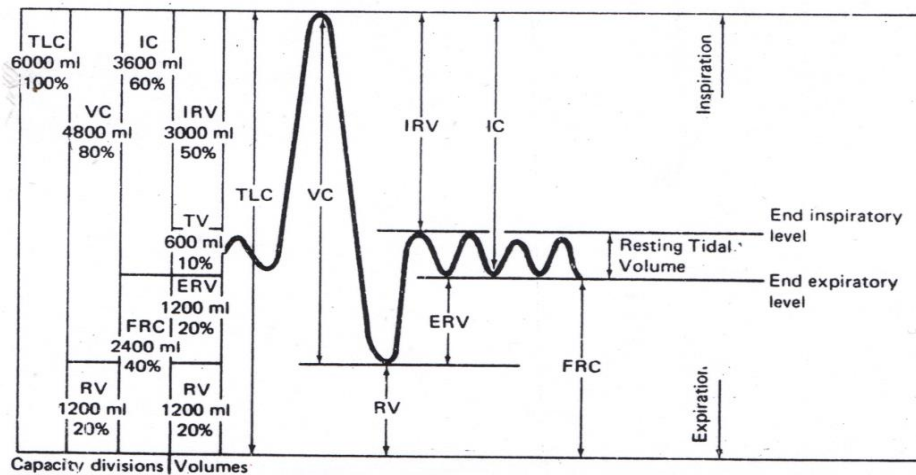
Kapasitas paru-paru merupakan penjumlahan dari satu atau lebih volume paru-paru yang terdiri dari 4 bagian, diantaranya :

1. *Inspiratory Capacity (IC)* adalah jumlah udara yang dapat dihirup seseorang mulai dari inspirasi dan ekspirasi normal dan pengembangan paru-paru sampai jumlah maksimal. Kapasitas inspirasi sama dengan volume tidal ditambah volume cadangan inspirasi, untuk laki-laki jumlahnya sebesar ± 3.500 ml dan perempuan ± 2.400 ml.
2. *Functional Residual Capacity (FRC)* adalah jumlah udara sisa dalam paru-paru setelah ekspirasi normal. Kapasitas residu fungsional sama dengan volume cadangan ekspirasi ditambah volume residu, jumlahnya sebesar ± 2.300 ml.
3. *Vital Capacity (VC)* adalah jumlah udara maksimal yang dapat dikeluarkan setelah menarik napas secara normal kemudian menarik napas secara maksimal dan menghembuskan secara maksimal. Kapasitas vital

sama dengan volume tidal ditambah volume cadangan inspirasi dan volume cadangan ekspirasi, jumlahnya sebesar $\pm 4.600\text{ ml}$.

4. *Total Lung Capacity* (TLC) adalah jumlah udara maksimal yang dapat mengembangkan paru sebesar mungkin dengan inspirasi sekuat-kuatnya. Kapasitas total paru-paru sama dengan kapasitas vital ditambah volume residu, jumlahnya sebesar $\pm 5.800\text{ ml}$ [11].

Berikut merupakan Gambar 2.3 volume dan kapasitas paru-paru.



Gambar 2. 3 Volume dan Kapasitas Paru-paru [12].

2.2.4 Spirometri

Spirometri merupakan suatu metode untuk menilai fungsi paru-paru dengan mengukur jumlah volume udara yang dikeluarkan saat ekspirasi. Tujuan pemeriksaan spirometri adalah menilai status faal paru dengan menentukan paru-paru normal, retriksi, obstruksi atau kombinasi. Menilai manfaat pengobatan untuk mengetahui perkembangan terhadap nilai faal paru-paru. Ada dua mode dalam pemeriksaan spirometri yaitu *Relax Mode* dan *Forced Mode*. *Relax mode* digunakan pasien diminta bernapas secara normal sebanyak 3 kali, menarik napas

sekuat-kuatnya, dan menghembuskan sekuat-kuatnya. Sedangkan *Forced mode* pasien diminta mengambil napas sekuat-kuatnya sebelum *mouthpiece* terpasang pada mulut kemudian dihembuskan secara habis dan maksimal. Untuk memulai pengukuran volume paru-paru pada spirometer dapat memilih *relax mode* dimana parameter yang diukur pada spirometer adalah Volume Tidal (*TV/Tidal Volume*), Volume Cadangan Inspirasi (*IRV/Inspiratory Reserve Volume*), Volume Cadangan Ekspirasi (*ERV/Expiratory Reserve Volume*) dan Volume Residu (*RV/Residual Volume*) [13]. Nilai normal volume tidal pada orang dewasa sebesar 300-500 ml (6-8ml/kg) atau 10% dari kapasitas vital dan nilai normal volume cadangan ekspirasi pada orang dewasa adalah 700-1200 ml [14]. Parameter volume dan kapasitas statis yang paling bermakna dalam menentukan adanya suatu gangguan pada paru-paru ialah volume residu (*RV/Residual Volume*), kapasitas vital (*VC/Vital Capacity*), kapasitas residual fungsional (*FRC/Functional Residual Capacity*), dan kapasitas total paru-paru (*TLC/Total Lung Capacity*). Nilai kapasitas vital menunjukkan kemampuan distensi paru dan dinding thorax. Jika nilai volume tidal (*TV/Tidal Volume*), volume cadangan inspirasi (*IRV/Inspiratory Reserve Volume*) dan volume cadangan ekspirasi (*ERV/Expiratory Reserve Volume*) tidak diketahui, maka nilai kapasitas vital (*VC/Vital Capacity*) tidak akan didapat karena kapasitas vital merupakan jumlah udara yang dihembuskan secara maksimal setelah inspirasi maksimal yaitu gabungan dari jumlah volume tidal (*TV/Tidal Volume*), volume cadangan inspirasi (*IRV/inspiratory Reserve Volume*) dan volume cadangan ekspirasi (*ERV/Expiratory Reserve Volume*). Maka dari itu, pentingnya pemahaman faal

paru statis sebagai dasar untuk mengetahui parameter volume lainnya. Hasil dari pengukuran spirometer berupa nilai dan grafik yang tercetak pada kertas. Alat spirometer dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Spirometer [15].

2.2.4.1 Interpretasi Volume dan Kapasitas Statis pada Gangguan Paru-paru

Gangguan ventilasi terdiri atas retriksi dan obstruksi. Retriksi merupakan gangguan pengembangan paru yang disebabkan oleh apapun, karenanya paru-paru menjadi kaku sehingga daya tarik ke dalam lebih besar maka dinding dada mengecil, volume paru-paru mengecil dan iga menyempit. Semua volume paru statis mengecil baik itu volume cadangan ekspirasi, volume residu, kapasitas vital, dan kapasitas residu fungsional. Pada gangguan obstruksi, hasil pemeriksaan spirometri menunjukkan bahwa adanya penurunan kecepatan aliran udara yang lebih besar, kapasitas vital mungkin turun karena terperangkapnya udara.

Pada pemeriksaan spirometri terdapat nilai prediksi. Setiap orang memiliki nilai prediksi yang berbeda-beda berdasarkan standar usia, jenis kelamin, berat badan dan tinggi badan. Kapasitas vital merupakan parameter yang diukur dalam menentukan nilai prediksi. Nilai normal kapasitas vital adalah 80%-120% prediksi. Jika nilai prediksi kapasitas vital kurang dari 80% dianggap gangguan

retriksi dan lebih dari 120% nilai prediksi maka dianggap adanya hiperinflasi [16]. Berikut merupakan klasifikasi gangguan fungsi paru berdasarkan pemeriksaan spirometri dapat dilihat pada gambar 2.5.

Klasifikasi gangguan fungsi paru berdasarkan nilai spirometri		
	RESTRIKSI (KVP % atau KVP/pred. %)	OBSTRUKSI (VEP1/KVP) % VEP ₁ % (VEP ₁ /VEP ₁ pred)
Normal	> 80 %	> 75%
Ringan	60 –79 %	60 – 74 %
Sedang	30 – 59%	30 – 59 %
Berat	< 30 %	< 30 %

Nilai prediksi Indonesia : Pneumomobile project 1992

Gambar 2.5 Klasifikasi Gangguan Fungsi Paru berdasarkan Spirometri[17]

2.2.4.2 Prosedur Pemeriksaan Spirometri

Sebelum memulai pemeriksaan, diperlukan beberapa persiapan diantaranya persiapan alat, persiapan penderita, persiapan ruang dan failitas.

1. Persiapan alat
 - a. *Mouthpiece* sekali pakai atau penggunaan berulang 1 buah.
 - b. Menyediakan wadah berisi savlon yang sudah dilarutkan dengan air untuk merendam *mouthpiece* yang akan digunakan berulang.
2. Persiapan subjek
 - a. Sebelum pemeriksaan subjek diukur tinggi badan, berat badan, usia dan jenis kelamin, dan ras karena data ini akan di masukkan ke dalam pendataan komputer pada alat spirometer untuk memperoleh nilai prediksi.

- b. Subjek harus bebas rokok minimal 2 jam sebelum pemeriksaan, tidak berpakaian ketat, tidak makan terlalu kenyang, penggunaan bronkodilator terakhir 8 jam sebelum pemeriksaan.
- c. Saat pemeriksaan dilakukan dengan posisi tubuh berdiri.
- d. Subjek diminta bernapas normal sebanyak 3 kali kemudian dilanjutkan dengan menarik napas secara maksimal dan menghembuskan napas secara maksimal dengan perlahan dan dilanjutkan dengan pernapasan normal.
- e. Dilakukan sampai didapat minimal 3 hasil yang diterima dan 2 diantaranya reproduksibel.

3. Persiapan operator

Sebelum pemeriksaan :

- a. Menjelaskan kepada subjek tujuan dan cara pemeriksaan, beberapa perintah yang harus dilakukan dan menegaskan bahwa pemeriksaan tidak menyakitkan.
- b. Memberikan contoh cara menarik dan menghembuskan napas pada saat pemeriksaan.

Saat pemeriksaan :

- a. Memberikan aba-aba dengan jelas kepada subjek agar pemeriksaan spirometri dilakukan dengan baik dan benar.
- b. Memperhatikan subjek selama pemeriksaan, memastikan bahwa nose clip sudah terpasang dengan benar, memastikan tidak ada kebocoran pada mulut.

4. Ruang dan fasilitas

Ruangan yang digunakan dalam pemeriksaan spirometri harus mempunyai system ventilasi yang baik. Suhu udara tempat pemeriksaan tidak boleh $<17^{\circ}\text{C}$ atau $>40^{\circ}\text{C}$.

2.2.4.3 Hasil Pemeriksaan yang Diterima dan Hasil yang Tidak Diterima

Hasil pemeriksaan yang dapat diterima yaitu permulaan uji harus baik, pemeriksaan harus selesai, dan eskpirasi minimal 3 detik., grafik flow-volume memiliki puncak. Hasil yang menunjukkan suatu pemeriksaan tidak baik yaitu permulaan ekspirasi yang ragu-ragu atau lambat, batuk selama pemeriksaan, terdapat kebocoran, mouthpiece tersumbat. [17].

2.2.5 *Flow Sensor*

Flow sensor yang digunakan adalah *flow sensor Hamilton* yang digunakan sebagai *mouthpiece* terhubung dengan sensor tekanan yang lain sebagai input pengambilan data. Memiliki tingkat pengukuran lebih baik terhadap kondisi paru-paru pasien dalam pengukuran volume, aliran, dan data tekanan. *Flow range* 0-180ml/menit, akurasi $\pm 15\%$ atau $\pm 20\text{ ml}$ [18]. Adapun gambar *Flow sensor Hamilton* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 *Flow Sensor*.

2.2.6 MPXV7002DP

Sensor MPXV7002DP adalah differensial pressure jenis *piezoresistif transducer* berbahan *silicon* yang terintegrasi dalam sebuah *chip*, bekerja pada tekanan -2 kPa sampai 2 kPa (-0.3 psi sampai 0.3 psi) dengan tegangan keluaran 0.5 sampai 4.5 V. Sensor tekanan MPXV7002DP dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Sensor Tekanan MPXV7002DP [19].

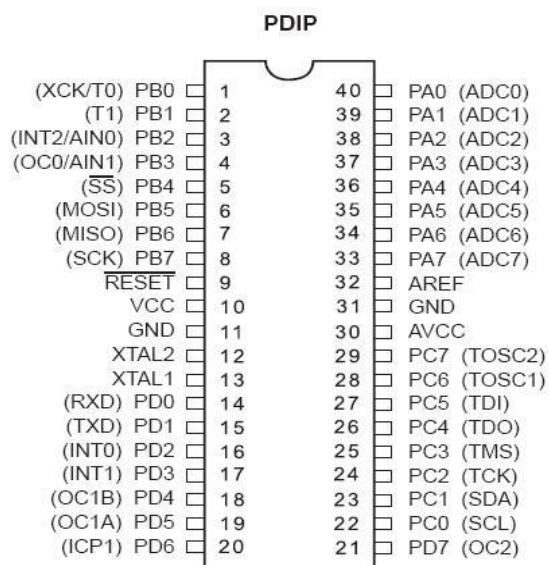
Sensor ini didesain untuk berbagai aplikasi, terutama yang menggunakan mikrokontroler atau mikroprosesor dengan input A/D. Sensor ini menggabungkan teknik *micromachining* canggih, metalisasi film tipis dan pemrosesan bipolar untuk memberikan sinyal *output* analog tingkat tinggi yang akurat yang sebanding dengan tekanan yang diberikan [19]. Adapun konfigurasi pin-pin pada kaki sensor MPXV7002DP dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 Konfigurasi Pin Sensor Tekanan MPXV7002DP

Pin	Nama	Pin	Nama
1	N/C	5	N/C
2	Vs	6	N/C
3	Gnd	7	N/C
4	Vout	8	N/C

2.2.7 Mikrokontroler ATmega32

Mikrokontroler merupakan suatu perangkat yang didalamnya sudah terintegrasi dengan I/O Port, Random Acces Memory (RAM), ROM, Analog to Digital Converter sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan kontrol. Proses memasukkan program ke dalam mikrokontroler disebut sebagai proses *download* dan alat yang digunakan disebut *downloader*. Konfigurasi pin ATmega32 dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Konfigurasi pin ATmega32.

Keterangan pin-pin ATmega32 sebagai berikut:

1. Vcc : *Supply* tegangan digital.
2. GND : *Ground*.
3. Port A (PA7, PA0) : Port A sebagai input Analog to Digital Converter (ADC). Port A juga sebagai 8-bit dua arah (*bi-directional I/O*) port dengan *internal pull-up resistors* digunakan untuk *general purpose*. Ketika port A

digunakan sebagai input dan *pull* eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor *pull-up* diaktifkan.

4. *Port B (PB7, PB0)* : *Port B* merupakan *port parallel* 8 bit dua arah (*bidirectional*), yang dapat digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*. *Buffer output* port B mempunyai karakteristik *drive* yang simetris dengan kemampuan keduanya *sink* dan *source* yang tinggi. Sebagai input *port B* yang mempunyai *pull* eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor *pull up* diaktifkan.
5. *Port C (PC7, PC0)* : *Port C* merupakan 8-bit dua arah (*bi-directional I/O*) *port* dengan *internal pull-up resistors* digunakan untuk *general purpose* dan *special feature*. *Buffer output port C* mempunyai karakteristik *drive* yang simetris dengan kemampuan keduanya *sink* dan *source* yang tinggi. Sebagai input *port C* yang mempunyai *pull* eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika resistor *pull up* diaktifkan. Pin *port C* adalah *tristate* ketika kondisi *reset* menjadi aktif sekalipun *clock* tidak aktif. Jika antar muka *JTAG enable*, resistor-resistor *pull-up* pada pin-pin PC5 (TDI), PC3 (TMS), PC2 (TCK) akan diaktifkan sekalipun terjadi *reset*.
6. *Port D (PD7, PD0)* : *Port D* merupakan 8-bit dua arah (*bi-directional I/O*) *port* dengan *internal pull-up resistors*). *Buffer output port D* mempunyai karakteristik *drive* yang simetris dengan kemampuan keduanya *sink* dan *source* yang tinggi. Sebagai input *port D* yang mempunyai *pull* eksternal yang rendah akan menjadi sumber arus jika

resistor *pull up* diaktifkan. Pin-pin *port D* adalah *tristate* ketika kondisi *reset* menjadi aktif sekalipun *clock* tidak aktif.

7. *Reset* : Sebuah *low level* pulsa yang lebih lama daripada lebar pulsa minimal. Pada pin ini akan menghasilkan reset meskipun *clock* tidak berjalan [20].

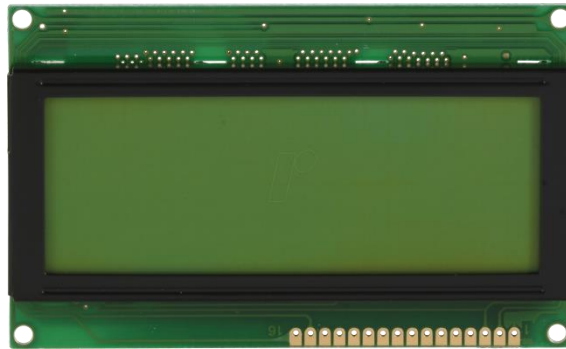
2.2.8 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai penampil data seperti karakter, huruf dan grafik. LCD dibuat dengan teknologi *CMOS logic* yang bekerja tidak menghasilkan cahaya tetapi menantulkan cahaya dari backlight. LCD terbuat dari bahan campuran organik dan lapisan kaca bening dengan elektroda dalam bentuk tampilan *seven segmen*. Ketika elektroda diaktifkan dengan tegangan, molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan *polarizer* cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.

Rangkaian LCD pada umumnya dibuat dengan menggunakan sistem komunikasi jenis *parallel*. Dalam hal ini tentunya akan banyak *port microcontroller* yang di butuhkan pada saat menggunakan LCD. Untuk dapat mengcover segala jenis komunikasi atau semua sistem yang akan saling terhubung

dengan *microcontroller* memerlukan penghematan *port microcontroller* [21].

Liquid Crystal Display (LCD) dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2. 8 *Liquid Crystal Display* 4x20.

Tabel 2. 2 Konfigurasi pin-pin LCD

No.	Nama	Fungsi	No.	Nama	Fungsi
1	V _{SS}	GND, 0V	10	DB3	<i>Data Bus</i>
2	V _{DD}	+5V	11	DB4	<i>Data Bus</i>
3	V _{EE}	LCD <i>drive</i>	12	DB5	<i>Data Bus</i>
4	RS	<i>Funtion select</i>	13	DB6	<i>Data Bus</i>
5	R/W	<i>Read/Write</i>	14	DB7	<i>Data Bus</i>
6	E	<i>Enable Signal</i>	15	LED A	<i>LED power supply</i>
7,9	DB0-DB2	<i>Data Bus Line</i>	16	LED B	<i>LED power supply</i>

2.2.9 Rata-rata

Rata-rata merupakan nilai atau hasil pembagian dari jumlah data yang diambil atau diukur dengan banyaknya pengambilan data atau banyaknya pengukuran. Rata-rata dirumuskan sebagai berikut.

$$\boxed{\text{Rata-rata } (\bar{X}) = \frac{\sum X_n}{n}} \dots\dots\dots [2-1]$$

Keterangan :

$\sum X_n$ = Jumlah nilai data

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

2.2.10 Simpangan

Simpangan adalah perbedaan nilai yang sebenarnya (X_S) dengan nilai rata-rata (\bar{X}). Dirumuskan sebagai berikut.

$$D = X_S - \bar{X} \dots\dots\dots[2-2]$$

Keterangan :

D = Deviasi (+ atau -)

X_S = Nilai Sebenarnya

\bar{X} = Nilai Rata-rata

2.2.11 Error (%)

Error atau kesalahan adalah selisih antara mean terhadap masing-masing data. Dirumuskan sebagai berikut

$$Error (\%) = \frac{Data\ setting - rerata}{Data\ setting} \times 100\% \dots\dots\dots[2-3]$$