BAB II

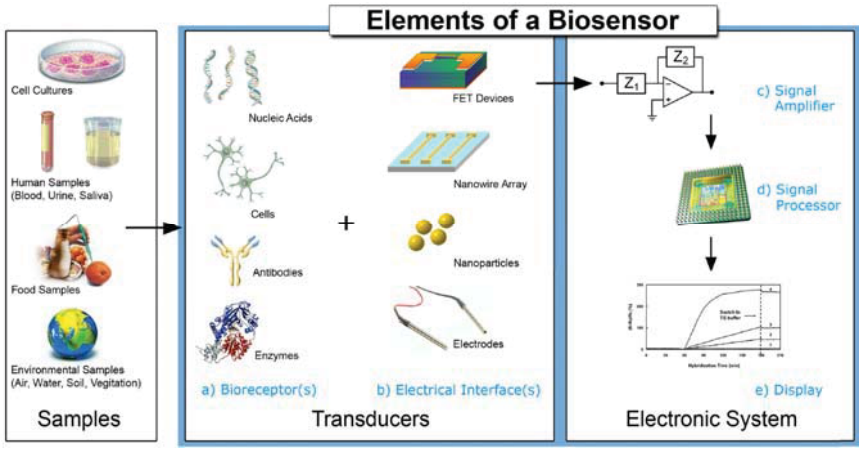
LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan menjelaskan dasar-dasar teori penunjang untuk merancang pembuatan sensor serta proses pembacaan sensor, adapun teori yang akan dipaparkan sebagai berikut.

2.1 Elektrokimia

Elektrokimia - Biosensor adalah ilmu ilmiah yang mempelajari tentang proses biologis dan reaksi kimia yang terjadi antara perubahan zat dan arus listrik yang berlangsung dalam sel elektrokimia, dimana perpindahan elektron terjadi antara elektroda dan elektrolit di dalam suatu larutan.

Sebuah biosensor secara umum didefinisikan sebagai perangkat analitis yang mengubah respon biologis menjadi sinyal yang bisa diukur dan diproses[10]. Biosensor umumnya bersifat spesifik pada senyawa yang akan di analisis. Biosensor dapat diterapkan untuk berbagai macam sampel termasuk cairan tubuh, sampel makanan, kultur sel seperti darah dan digunakan untuk menganalisa sampel lingkungan seperti air, tanah, udara dan vegetasi.



Gambar 2.1 Elemen dari biosensor[11]

Adapun elemen dan skema komponen dari biosensor terdapat pada Gambar 2.1 dan dijelaskan sebagai berikut:

a. *Bioreceptor* berfungsi untuk mengenali dan mengikat analit zat uji yang akan diukur dan dianalisis.

b. *Electrical Interface* dimana peristiwa perubahan zat biologis tertentu berubah menjadi sinyal dan arus listrik.

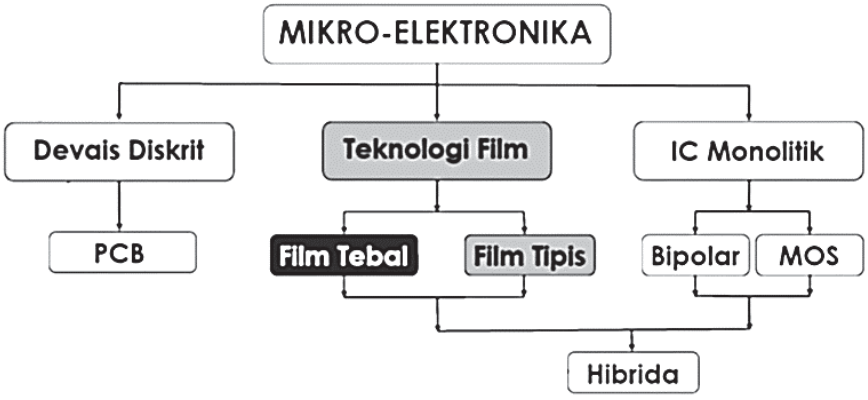
c. *Signal Amplifier* (elemen tranduser) sinyal listrik yang diterima diubah menjadi sinyal elktronik dan diperkuat oleh rangkaian detektor menggunakan referensi yang sesuai.

d. *Signal Processor* berupa perangkat komputer ataupun mikrokontroler yang bertugas untuk menkonversi data sinyal diterima ke dalam bentuk parameter tertentu serta menjelaskan proses yang sedang dianalisa.

2.2 Teknologi Film Tebal (*Thick Film*)

Teknologi film Tebal telah digunakan sejak tahun 1960 sebagai alat untuk meminiaturkan suatu rangkaian elektronik kedalam kepingan substrat dan juga pembuatan rangkaian hibrid yang terdiri dari komponen semikonduktor, sirkuit terpadu (*Integrated Circuit*) dan perangkat diskrit, dan karena kemampuannya yang dapat menghasilkan jalur konduktor yang sangat kecil (*fine line)*. Dalam penelitian yang telah berjalan teknologi film tebal ini memberikan peningkatan ukuran agar lebih kecil, berat yang ringan dan juga menekan biaya dari pembuatannya. Proses deposisi (pembuatan) utama dari film tebal ini ialah *screen printing* atau dengan istilah umum teknik sablon[12].

Teknologi film tebal ini termasuk kedalam teknologi Mikroelektronika yang dimana terdapat tiga katergori yaitu Devais Diskrit dengan menggunakan PCB (*Printed Circuit Board*), Teknologi Film menggunakan Alumina, dan IC Monolitik menggunakan Silikon.

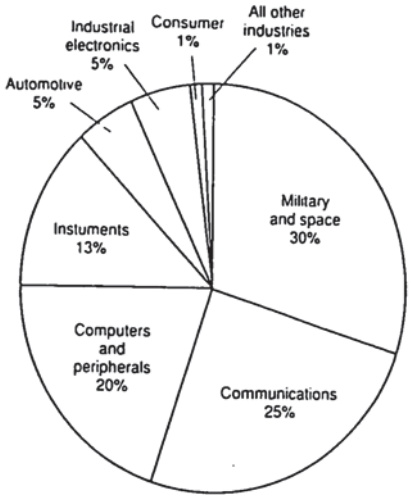


Gambar 2.2 Klasifikasi mikroelektronika

Film Tebal sifatnya serbaguna, fleksibel karena dari sisi ekonomi dan kemudahan dalam fabrikasi. Selain itu film tebal sering digunakan dalam aplikasi *high-voltage* dan *high-power* karena faktor disipasi arus dan daya. Untuk alasan

ini, film tebal dipilih untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan analog serta beberapa persyaratan yang membutuhkan frekuensi digital dan frekuensi tinggi.

Teknologi film tebal sudah banyak di aplikasikan dalam sistem militer, komputer, radar, telekomunikasi, otomotif, medis, pengembangan aktuator serta sensor dan produk elektronik komersial. Dan beberapa aplikasi Film Tebal sebagai komponen elektronika, seperti Resistor, Kapasistor, Induktor, Sensor Elektroda, Solar Sel, dan Display.



Gambar 2.3 Aplikasi penggunaan film tebal[12]

2.2.1 Substrat

Substrat merupakan tempat rangkaian dan jalur elektronika dan tempat interkoneksi antara divais pasif ataupun divais aktif. Fungsi dari substrat didalam rangkaian film tebal, diantaranya:

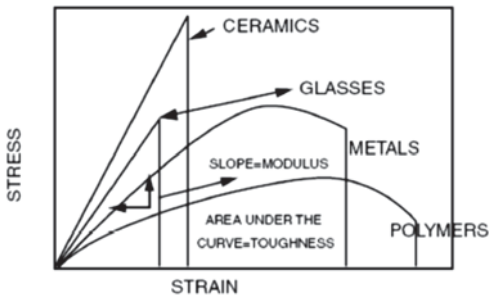
a. Berfungsi sebagai lapisan dielektrik untuk rangkaian-rangkaian dengan frekuensi tinggi.
b. Sebagai penunjang interkoneksi dan perakitan divais.
c. Sebagai media penyalur panas dari rangkaian.

d. Sebagai tempat pembentukan pola jalur konduktor dan komponen pasif dan sebagai isolator.



Gambar 2.4 Keping substrat alumina

Substrat yang bagus dalam pembuatan teknologi film tebal yaitu berbahan keramik Alumina 96% (Al_2O_3) karena memiliki kemampuan yang lebih baik dari bahan lain yang terdapat dalam gambar di bawah ini.



Gambar 2.5 Sifat Bahan substrat alumina[13]

Adapun sifat dan kelebihan dari substrat berbahan keramik Alumina 96% (Al_2O_3) diantaranya:

a. Memiliki dimensi yang stabil.

b. Memiliki ketahanan yang baik terhadap gesekan.

c. Memiliki konstanta dielektrik yang rendah.

d. Memiliki permukaan rata dan halus.

e. Memiliki stabilitas kimia terhadap pasta konduktor yang akan di gunakan.

f. Memiliki penghantar panas yang baik.

g. Memiliki daya hantar panas yang baik.

h. Merupakan jenis isolator yang baik.

2.2.2 Pasta atau Elektroda

Pasta atau elektroda sensor elektrokimia bermacam-macam tergantung pada fungsi yang akan digunakan, sehingga dalam pembuatan *thick film* diperlukan beberapa *screen* dengan desain dan pasta yang berbeda. Pasta yang diperlukan dalam fabrikasi teknologi film tebal diantaranya:

a. Pasta solder.

b. Pasta konduktor, memiliki sifat yang berguna untuk solder (*bonding*).

c. Pasta dielektrik mempunyai karakteristik frekuensi dan berbagai konstanta dielektrik.

d. Pasta resistor dengan berbagai nilai resistansi.

e. Pasta *coating*, digunakan untuk melindungi rangkaian akhir.



Gambar 2.6 Contoh pasta film tebal (AgPd)

2.2.3 *Screen*

Layar atau *Screen* adalah media untuk mencetak pasta ke dalam keping subsrat. Layar terdiri dari tiga bagian yaitu:

a. Stensil

Peran stensil adalah menentukan bentuk pola yang akan dicetak ke substrat. Namun, dalam aplikasi film tebal stensil juga memiliki peran sekunder yang memiliki pengaruh besar pada ketebalan cetak. Jadi jika semakin tebal stensil, maka semakin tebal pula cetakannya (pasta).

b. *Mesh*

Peran mesh atau jaring adalah sebagai tempat pencetakan pola stensil. Adapun bahan yang sering digunakan ada tiga jenis bahan yaitu, nilon, poliester dan stainless steel.

c. *Frame*

Frame atau bingkai layar biasanya terbuat dari logam dan alumunium. Bingkai ini berbentuk persegi dan harus kokoh untuk dapat menahan jaring.



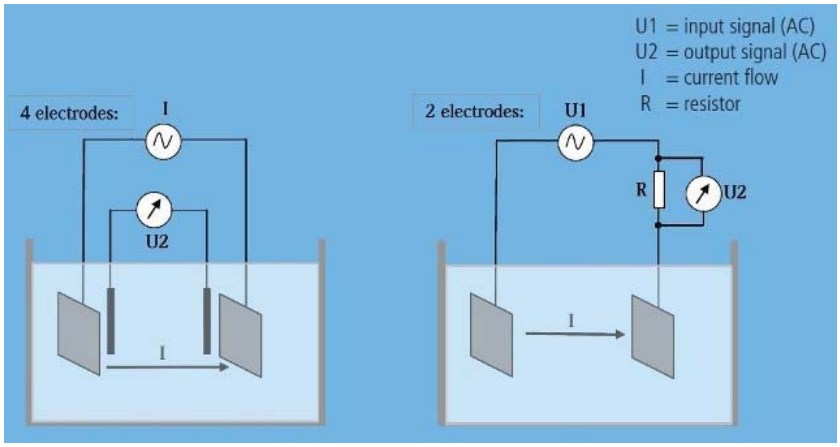
Gambar 2.7 Contoh *screen*

2.3 Konduktivitas

Konduktivitas atau Daya Hantar Listrik (DHL) merupakan suatu ukuran yang menyatakan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik. Semakin besar konduktivitas suatu bahan, semakin besar pula bahan atau zat tersebut dalam menghantarkan arus listrik. Satuan konduktivitas adalah siemens atau mho. Konduktivitas diukur dalam mikrosiemens per sentimeter (μS/cm). Selain itu konduktivitas juga merupakan kebalikan dari resistivitas yang menyatakan ukuran bahan dalam menghambat arus listrik dengan satuan ohm (Ω). Pengukuran konduktivitas atau daya hantar listrik berfungsi untuk[14]:

a. Menentukan air layak dikonsumsi atau tidak.
b. Mengevaluasi dalam pengolahan yang cocok dengan kondisi mineral air.
c. Menetapkan derajat disosiasi dari air destilasi dan tingkat mineralisasi.
d. Memperkirakan efek total dari konsentrasi ion.
e. Memprediksi kandungan mineral dalam air
f. Memperkirakan jumlah zat padat terlarut dalam air.

Dalam larutan ketika diberi tegangan, arus listrik dapat menghantar karena adanya ion-ion dalam larutan tersebut. Dan jika air tersebut murni, maka air tersebut tidak dapat meghantarkan listrik. Inilah yang menjadi prinsip dasar dari sensor konduktivitas air.



Gambar 2.8 Prinsip pengukuran konduktivitas[15]

Pada Gambar 2.8 pengukuran konduktivitas larutan terdapat dua metode yang sering dipakai yaitu dengan menggunakan dua elektroda dan empat elektroda. Metode dengan dua elektroda merupakan metode konvensional dengan mengaliri arus listrik pada dua elektroda dan menghasilkan tegangan yang terukur. Sedangkan metode dengan empat elektroda memanfaatkan dua elektroda sebagai pemberi arus dan dua elektroda lainnya sebagai pengukur tegangan.

Saat mengukur menggunakan Arus DC pada sensor konduktivitas, maka akan terjadi polarisasi pada elektroda serta dapat menyebabkan nilai konduktivitas yang terukur menjadi tidak valid. lon-ion pada larutan yang diuji akan menempel pada elektroda sensor dan menyebabkan nilai arus yang terukur menjadi menurun. Maka dari itu harus digunakan sumber tegangan AC, hal ini dapat menghindari terjadinya pelapisan atau polarisasi pada elektroda sensor yang dapat menyebabkan pengukuran menjadi tidak valid.

Nilai konduktivitas yang diperoleh sebagai hasil pengukuran juga bergantung pada geometri sel. Dampak dari geometri sel dapat di eleminasi yang biasa disebut konstanta sel, yaitu perbandingan jarak antara elektroda dengan luas

penampang area elektroda. Konstanta sel dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$\mathrm{Kc} = \frac{d}{A} \quad \text{.....(2.1)[16]}$$

Dimana:

Kc = Konstanta sel dalam cm^{-1}

d = Jarak antara elektroda dalam cm

A = Luas area (panjang x lebar) elektroda efektif dalam cm^2

Untuk mengukur nilai kadar konduktivitas sensor harus di intergrasikan juga oleh sensor temperatur atau suhu karena parameter yang dapat mempengaruhi nilai kadar konduktivitas adalah temperatur, karena semakin panas suatu larutan maka akan semakin cepat pula pergerakan ion-ion di dalamnya, maka dengan berubahnya nilai temperatur maka berubah pula nilai dari konduktivitas air tersebut. Adapun hubungan persamaan antara konduktivitas dan temperatur sebagai berikut.

$$C_{25} = \frac{c}{1+\alpha(t-25)} \quad \text{.....(2.2)[17]}$$

Dimana:

C_{25} = Nilai konduktivitas pada suhu 25°C

c = Nilai konduktivitas terukur dalam µS/cm

α = Faktor kompensasi perubahan temperatur per°C (dalam persen)

t = Nilai temperatur terukur dalam °C

Nilai faktor kompensasi (α) berbeda-beda tergantung nilai larutannya. Berikut nilai faktor kompensasi temperatur pada larutan tertentu pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Faktor kompensasi temperatur[17]

Solution	Temperature Coefficient of Variation %/°C at 25°C
Ultrapure Water	5,5
NaOH 5%	2,01
NaOH 30%	4,50
HCl 5%	1,58
HCl 30%	1,52
KCl 5%	2,01
KCl 20%	1,68
Fresh Water	~ 2,0

Adapun nilai rata-rata konduktivitas dalam air yang tersedia terdapat pada tabel di bawah ini.

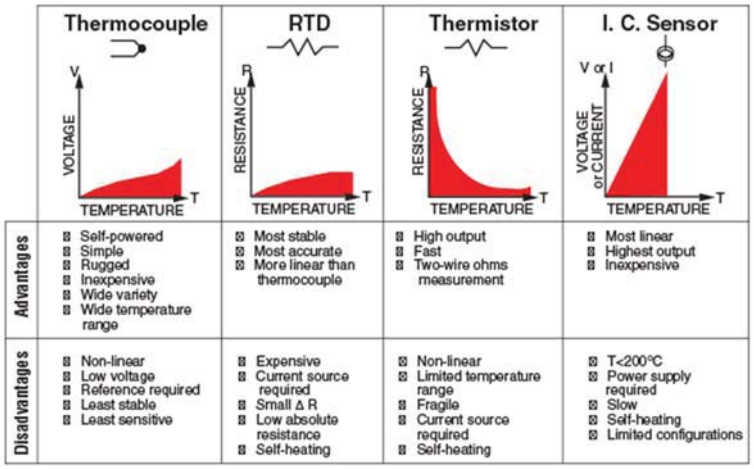
Tabel 2.2 Nilai rata-rata konduktivitas air[18]

Jenis Air	Konduktivitas
Air Murni	0,055 µS/cm
Air Deionisasi	1,0 µS/cm
Air Hujan	50 µS/cm
Air Minum	50 to 800 µS/cm
Air Limbah Rumah Tangga	0,05 to 1,5 mS/cm
Air Limbah Industri	0,05 to 10 mS/cm
Air Laut	35 to 50 mS/cm

2.4 Temperatur

Temperatur atau suhu adalah suatu ukuran panas ataupun dinginnya suatu zat. Secara teknis, suhu menunjukkan arah di mana energi mengalir (sebagai panas) ketika dua benda berada dalam kontak termal. Suhu dapat diukur dengan alat termometer. Besaran atau skala suhu yang banyak digunakan ialah

celcius. Pada skala Celcius, titik beku air sama dengan 0°C dan titik didihnya sama dengan 100°C. Setiap jenis termometer memiliki *thermometric property* yang dimana dalam mengukur suhu didasarkan atas gejala perubahan besaran fisis tertentu (Resistansi, Tegangan, dan Arus) ketika suhu berubah.



Gambar 2.9 Perbandingan sensor suhu[19]

Pada umumnya terdapat empat jenis sensor suhu seperti pada Gambar 2.9 menunjukan grafik output sinyal serta kelebihan dan kekurangan dari masing-masing sensor suhu dijelaskan sebagai berikut:

a. Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang menghasilkan sinyal yang kecil berkisar antara 10-80 mV (mili Volt) dan tidak memerlukan catu daya. Termokopel dapat diaplikasikan pada suhu yang sangat ekstrim dan dibuat dengan menghubungkan dua logam berbeda di salah satu ujungnya untuk membentuk persimpangan. Teori pengoperasian termokopel dapat dijelaskan oleh efek Seebeck, yang ditemukan oleh Thomas Seebeck pada tahun 1821. Jumlah voltase yang dihasilkan termokopel bergantung pada dua jenis logam yang digunakan untuk membentuk persimpangan. Ketika Seebeck membuat penemuan ini pada tahun 1821, termokopel tidak berguna

karena sinyal yang dihasilkan dalam rentang milivolt tidak dapat diperkuat pada saat itu. Kelemahan dari termokopel yaitu *nonlinear* di bagian kurva responsnya dan memerlukan rangkaian kompensasi suhu (referensi), ini yang menyebabkan pengukuran tidak stabil dan tidak sensitif.

b. RTD (Resistance Temperature Detector)

Pada tahun 1821 Sir Humphrey David menemukan bahwa resistansi beberapa logam berubah saat dipanaskan. Karena perubahan dari resistansi terlalu kecil dan tidak seragam, maka penemuan Sir Humphrey David sampai tahun 1871 tidak dievaluasi, lalu Sir William Siemens memutuskan untuk menggunakan platina sebagai logam. Ia menemukan bahwa platina memiliki koefisien resistansi positif saat dipanaskan. Ini berarti bahwa ketahanan platina meningkat seiring suhunya meningkat dan hampir linier. Pada tahun 1932 CH Meyers mengembangkan platina ke sensor yang sekarang kita kenal sebagai Resistance Temperature Detector (RTD). Versi awal sensor ini menggunakan kawat platina yang melilit batang keramik. Saat ini kawat platinum dililitkan di sekitar batang kaca atau batang keramik untuk membuat RTD. Setelah kawat dilekatkan ke elemen, seluruh sensor disegel dalam kaca berbentuk bohlam sehingga tahan lama dan tahan terhadap suhu yang tinggi.

RTD terbaru saat ini menggunakan platina atau metal glass slurry untuk membuat *thin film* yang dipasang pada substrat keramik datar. *Thick Film Detektor* (TFD) dapat diproduksi untuk digunakan sebagai manik kaca kecil atau bisa disegel dalam elemen logam atau plastik seperti Teflon.

RTD adalah sensor yang lebih stabil dan lebih akurat dari perangkat suhu dibahas dalam bagian ini. Adapun kelemahan dari RTD adalah bahwa lebih mahal daripada sensor lain, serta memerlukan sumber arus seperti rangkaian jembatan *wheatstone* dengan catu daya untuk menghasilkan sinyal, namun memiliki ketahanan absolut yang rendah, ΔR kecil, dan *self-Heating* yang berarti akan menambah panas pada dirinya sendiri saat arus mengalir melewatinya yang akan menyebabkan kesalahan pada beberapa bacaan.

c. Termistor

Termistor adalah resistor yang sensitif terhadap suhu seperti RTD. Perbedaan utama antara termistor dan RTD adalah bahwa termistor umumnya memiliki koefisien temperatur negatif dan termistor menunjukkan perubahan resistensi yang lebih besar untuk setiap derajat perubahan suhu. Koefisien suhu negatif berarti bahwa resistansi termistor berkurang saat suhunya meningkat. Perlu dicatat bahwa beberapa termistor tersedia yang memiliki koefisien suhu positif, namun sebagian besar digunakan sebagai sensor suhu akan memiliki koefisien temperatur negatif.

Keuntungan dari termistor adalah memiliki perubahan resistansi keluaran yang tinggi untuk perubahan suhu, ini lebih cepat bereaksi terhadap perubahan suhu, dan dapat memberikan sinyal dari konfigurasi dua kawat. Kelemahan dari termistor adalah bahwa itu tidak linier yang berarti hanya sebagian kecil atau jangkauannya dapat digunakan pada satu waktu, atau harus digunakan pada aplikasi yang tidak memerlukan linieritas lengkap seperti alarm tinggi atau rendah, memiliki rentang suhu yang sangat

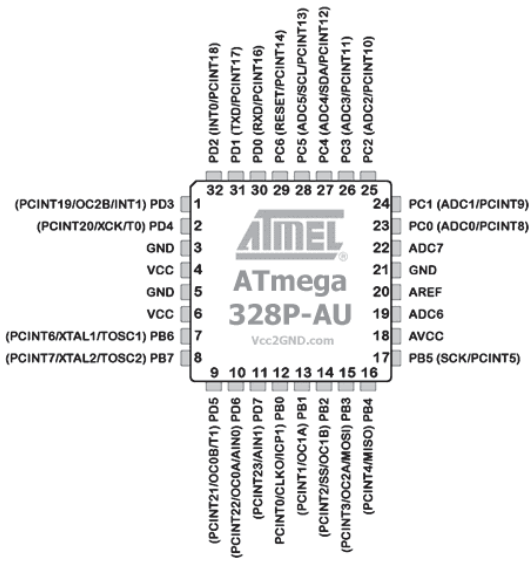
terbatas, rapuh dan mudah patah, sumber arus seperti jembatan *wheatstone* diperlukan, dan *self-heating* seperti RTD.

d. Sensor IC

Sensor IC yang paling linier dari sensor-sensor sebelumnya, karena memiliki output tertinggi untuk jumlah perubahan suhu, dan yang paling murah. Kelemahannya kisaran suhu kurang dari 200°C, ia memerlukan catu daya seperti sirkuit tambahan, lambat bereaksi terhadap perubahan suhu, *self-heating*, dan memiliki sejumlah konfigurasi terbatas.

2.5 Mikrokontroler

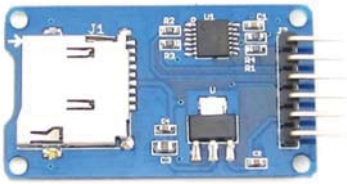
Mikrokontroler dapat diartikan sebagai perangkat pengendali yang berukuran kecil yang dapat melakukan komputasi dan mengerjakan instruksi program dan mengoperasikan suatu alat. Sama seperti komputer sebuah mikrokontroler juga memiliki *Central Processing Unit* (CPU), *Random Access Memory* (RAM), dan *Read only Memory* (ROM).



Gambar 2.10 Datasheet mikrokontroler Atmega328

2.6 Modul *MicroSD Card*

Modul *MicroSD Card* adalah modul pembaca dan menulis file ke dalam kartu *microSD* dengan sistem *file* dan *SPI driver* yang dilakukan oleh mikrokontroler. Pengguna Arduino langsung dapat menggunakan arduino IDE dilengkapi dengan kartu *microSD* untuk menyelesaikan inisialisasi membaca dan menulis kartu[20].



Gambar 2.11 Modul *MicroSD Card*

2.7 *Real Time Clock* (RTC)

Real Time Clock (RTC) adalah sebuah *chip* yang berfungsi untuk menjalankan fungsi waktu dan kalender secara realtime pada perangkat mikrokontroler dengan menggunakan *backup supply* berupa *battery*.



Gambar 2.12 RTC DS3231

2.8 LCD Nextion *touch screen* (*user interface*)

LCD Nextion adalah *display* atau *user interface* yang digunakan sebagai indikator atau monitoring alat yang akan dibuat. LCD *Nextion* HMI ini dilengkapi dengan bantuan *software Nextion Editor* berbasis GUI WYSIWYG (*What You See*

Is What You Get) dengan platform Microsoft Windows dan dapat di *download* gratis pada situs resmi produsennya (ITEAD). Modul *touch screen* ini bisa menampilkan banyak data dan *interface* dengan sangat bagus. Untuk membuat *interface* pada LCD *Nextion*, cukup dengan membuat desain pada *software Nextion Editor*, *copy* ke LCD via SD *Card*, dan UI kemudian LCD *Nextion* akan menampilkan *interface* yang diinginkan.



Gambar 2.13 LCD *Nextion touch screen*

2.9 Buzzer

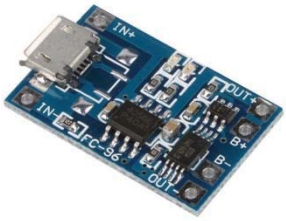
Buzzer atau beeper adalah komponen sinyal audio yang berfungsi untuk mengubah listrik menjadi getaran suara dengan frekuensi 1 sampai 5 Khz. Buzzer termasuk juga mekanik, elektromekanis, atau piezoelektrik. Cara kerja buzzer mirip dengan speaker pada umumnya yang memiliki magnet, kumparan dan membran dengan memanfaatkan efek elektromagnet ketika kumparan diberikan sumber listrik maka akan menggetarkan membran dan menghasilkan suara. Dalam penggunaanya buzzer biasanya digunakan sebagai alarm dan penanda proses (indikator) pada suatu sistem[21].



Gambar 2.14 Buzzer

2.10 Modul Charge Baterai Li-on

Modul ini digunakan untuk mengisi baterai bertipe *Lithium Ion* (Li-on) atau yang sering digunakan baterai pada *handphone*. Dengan memanfaatkan input micro USB ataupun adaptor pengisian *handphone* modul *charge* dengan *chip* TP4056 ini dilengkapi dengan fitur *over-load protection* dan *over-discharge* yang berfungsi untuk melindungi baterai Li-Ion agar tidak kelebihan dalam pengisian yang dapat mengakibatkan kerusakan pada baterai.



Gambar 2.15 Modul charge baterai Li-ion TP4056

2.11 Modul Step Up 5 VDC

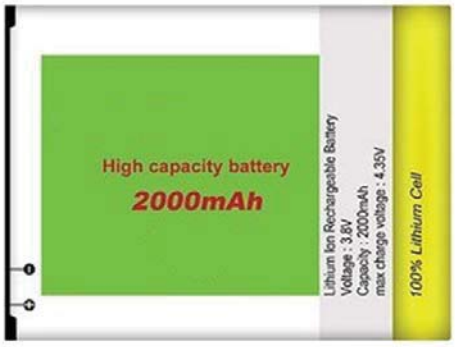
Modul ini digunakan untuk menaikan tegangan yang berasal dari baterai *Lithium Ion* (Li-on) dengan tegangan 3,7 Volt menjadi keluaran 5 Volt. Hal ini di perlukan karena perangkat mikrokontroler dan LCD *touch screen* serta modul yang lainnya memerlukan tegangan 5 Volt untuk berfungsi dengan baik.



Gambar 2.16 Modul step up 5 VDC

2.12 Baterai *Lithium Ion* (Li-on)

Baterai *Lithium Ion* (Li-Ion) adalah salah satu baterai yang dapat di isi ulang (*rechargable battery)*. Alasan mengapa memilih baterai jenis baterai Li-Ion karena dalam penggunaannya sangat cocok dan membuat perangkat lebih kecil, lebih tipis, dan lebih ringan. Baterai Li-Ion menjawab kebutuhan teknologi saat ini karena baterai Li-Ion mampu menyimpan energi lebih banyak dengan ukuran yang lebih kecil dan ringan[22].



Gambar 2.17 Baterai *lithium ion* (Li-ion)

Berikut kelebihan dan kekurangan dari baterai Li-Ion[23]:

- Li-Ion proses pengisian hanya menambah penyimpanan energi. Pada baterai jenis sebelumnya, proses pengisian dilakukan dua tahap yaitu mengosongkan semua isi dari baterai terlebih dahulu *(discharge completely*), lalu mengisi kembali (*re-charging)*. Hal ini mengakibatkan

proses pengisian Li-Ion lebih cepat dibandingkan baterai berjenis NiMH ataupun jenis baterai sebelumnya.

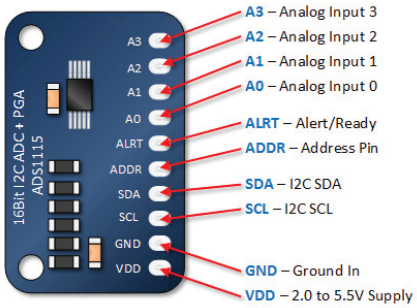
- Mempunyai daya yang lebih besar dari pada baterai tipe lain.
- Masih kategori baterai ramah lingkungan.

Selain kelebihan yang disebutkan di atas, Li-Ion juga memiliki kekurangan. Namun dengan catatan kekurangan ini bukan muncul apabila dibandingkan dengan jenis-jenis baterai sebelumnya. Kekurangan tersebut adalah:

- Meskipun baterai Li-ion tidak digunakan kualitasnya akan tetap menurun setelah 3 tahun dari tanggal pembuatan.
- Panas akan menyebabkan masa pakai Li-Ion menurun, dan mengakibatkan menurunnya masa pemakaian normal sekitar 3 tahun. Karena itu Li-Ion sangat sensitif terhadap temperatur tinggi.
- Baterai Li-ion lebih mahal karena memiliki *on board chip* untuk mengatur penggunaan baterai.

2.13 *Analog to Digital Converter* (ADC)

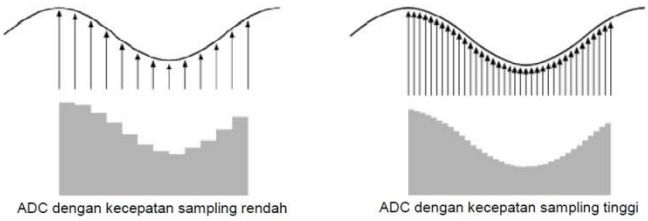
Analog to Digital Converter (ADC) suattu perangkat yang fungsinya untuk mengubah sinyal analog (sinyal kontinyu) menjadi sinyal digital dan menerjemahkan informasi analog ke bentuk digital dan sebaliknya. Alat ini memiliki peranan penting ketika digunakan sebagai pembacaan dan pengolahan sinyal ataupun data sensor yang akan diolah di komputer. ADC memiliki dua paremeter, yaitu resolusi dan kecepatan sampling.



Gambar 2.18 ADS1115 ADC 16 bit[24]

a. Kecepatan Sampling

Kecepatan sampling ADC menyatakan seberapa banyak sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling dinyatakan dalam *sample per second* (SPS).



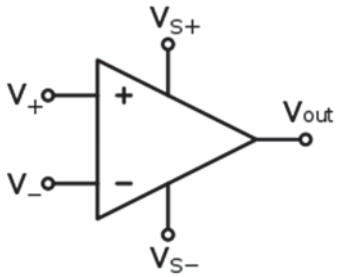
Gambar 2.19 Kecepatan sampling ADC[25]

b. Resolusi

Resolusi ADC berpengaruh pada ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh ADC 10 bit mempunyai output digital sebesar 1.023 nilai diskrit. ADC 16 bit mempunyai output digital sebesar 65.535 nilai diskrit. Kesimpulannya ADC 16 bit akan menghasilkan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik dan lebih sensitif dibanding ADC 10 bit.

2.14 *Operational Amplifier* (Op-Amp)

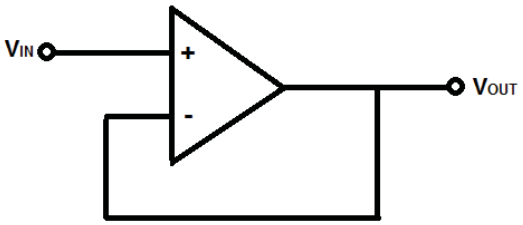
Operational amplifier adalah sebuah komponen elektronika aktif yang dapat menguatkan sinyal dengan tingkat penguatan yang tinggi. Kaki op-amp terdiri dari masukan non-inverting dan inverting. Op-amp ideal memiliki karakteristik impedansi antara kedua kaki masukan tidak terhingga, memiliki penguatan *open loop* tidak terhingga, dan memiliki impedansi keluaran nol.



Gambar 2.20 Simbol op-amp

2.15 *Buffer*

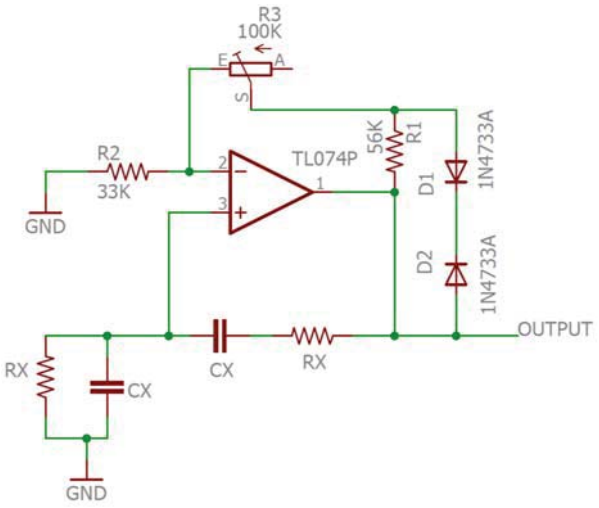
Buffer merupakan salah satu aplikasi dari op-amp yang berfungsi sebagai penyangga tegangan dengan penguatan satu kali lipat. Penguat *buffer* digunakan untuk menjaga sinyal keluaran sensor tidak terjadi *overshoot* yang tidak diinginkan.



Gambar 2.21 Rangkaian dasar *buffer*

2.16 *Wien Bridge Oscillator*

Wien brigde oscillator merupakan salah satu aplikasi dari op-amp yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal sinus dengan frekuensi yang lebar. *Wien brigde oscillator* dikembangkan oleh Max Wien pada tahun 1891 untuk pengukuran impedansi.



Gambar 2.22 Rangkaian *wien bridge oscillator*

Frekuensi yang dihasilkan dibangun oleh komponen resistor dan kapasitor. Adapun persamaan dari Gambar 2.22 untuk menghasilkan gelombang osilator sebagai berikut.

$$f_{hz} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{.....(2.3)[26]}$$

Dimana:

f_{hz} = Frekuensi Output

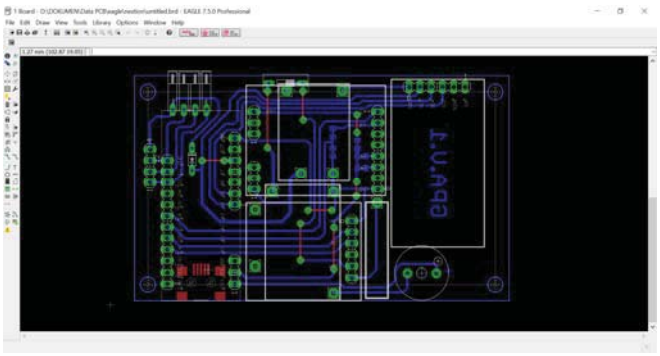
π = 3,14

R = Nilai dari RX

C = Nilai dari CX

2.17 *Easily Applicable Graphical Layout Editor* (EAGLE)

Easily Applicable Graphical Layout Editor (EAGLE) adalah sebuah *software* yang memudahkan dalam pembuatan desain rangkaian elektronika pada *Printed Circuit Board* (PCB). Fitur yang terdapat di EAGLE diantaranya meliputi tata letak komponen dan jalur kelistrikan.



Gambar 2.23 Antarmuka *software* EAGLE PCB

2.18 Arduino IDE

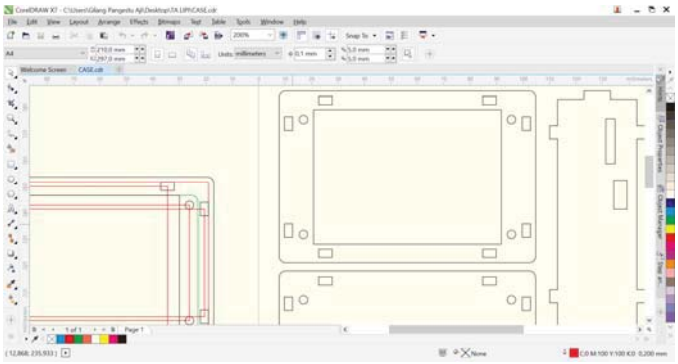
Arduino IDE adalah sebuah software yang digunakan untuk membuat sebuah program algoritma yang akan dimasukan ke dalam papan Arduino atau mikrokontroler. Perangkat lunak ini menggunakan bahasa program campuran antara C dan JAVA untuk menghasilkan suatu program algoritma. Perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan fitur terminal yang dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui *serial port*.



Gambar 2.24 Antarmuka *software* Arduino IDE

2.19 CorelDRAW

CorelDRAW adalah sebuah *software* desain grafis yang digunakan untuk membuat berbagai macam desain, contoh yang digunakan dalam penelitian ini adalah pembuatan struktur desain sensor *thick film* dan pembuatan maket alat.



Gambar 2.25 Antarmuka *software* CorelDRAW

2.20 Metode Linear Least Square

Metode least square adalah suatu bentuk pendekatan analisis regresi matematis yang menemukan garis paling sesuai (linier) untuk kumpulan data, memberikan demonstrasi visual mengenai hubungan antara titik data. Setiap titik data mewakili hubungan antara variabel independen yang diketahui dan variabel dependen yang tidak diketahui. Metode ini dapat digunakan untuk memudahkan dalam kalibrasi sensor yang dimana mendapatkan persamaan suatu pembacaan sensor yang diharapkan. Adapun persamaan least square sebagai berikut.

$$y = a + bx \quad \text{.....(2.4)[27]}$$

Nilai a dan b bernilai konstan, dengan a adalah offset (gelinciran), yaitu nilai keluaran yang sudah terlebih dahulu muncul ketika nilai masukannya masih bernilai nol (belum ada), sedangkan b adalah slope (kemiringan suatu garis lurus), yang biasa disebut juga sensitivitas.

Dari persamaan (2.4) nilai a dan b dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$b = \frac{n\sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i}{n\sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i)^2} \quad \text{……..……...……(2.5)[27]}$$

$$a = \frac{\sum_i y_i - b\sum_i x_i}{n} \quad \text{……..……...…..……..(2.6)[27]}$$

Dimana:

$\sum_i x_i$ = Jumlah nilai terukur

$\sum_i y_i$ = Jumlah nilai sebenarnya

n = Jumlah data