

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkembangan Teknologi Pengukur Panjang**

Semenjak ilmu pengetahuan manusia mulai berkembang, maka pengukuran menjadi hal yang sangat penting dan mendasar. Bahkan mungkin saja pengukuran merupakan ilmu tertua di dunia, hal ini didasarkan bahwa pengetahuan tentang pengukuran menjadi syarat mutlak dalam semua profesi yang berbasis ilmu pengetahuan.

Sejarah mencatat, berbagai bangunan monumental menakjubkan sepanjang sejarah peradaban manusia dihasilkan dengan pengukuran yang sangat teliti. Piramid di Mesir misalnya, bangunan yang sangat masyhur itu beralas kubus dengan jarak nominal 230 meter dengan ketepatan  $\pm 14$  mm (sedikit lebih kecil dari kecermatan alat ukur yang dipakai). Bahkan ketepatan kesikuan bangunan  $\pm 12$  detik.

Berikut sekilas sejarah pengukuran yang menggambarkan perjalanan satuan ukuran. Peninggalan berupa bangunan dan tata kota yang terencana menunjukkan pengetahuan di bidang pengukuran telah berkembang dan terstandar.

#### **Mesir**



Gambar 3.1 Pengukur mesir kuno

Sekitar 3000 tahun sebelum Masehi, Fir'aun sebagai penguasa Mesir, berkehendak membuat piramid-piramid untuk menunjukkan kebesaran

kekuasaannya. Untuk menyukseskan pembangunan piramid-piramid tersebut Fir'aun membuat ukuran yang akan dijadikan sebagai standar panjang semua komponen pembentuk piramid. Ukuran tersebut adalah satuan yang disebut dengan 'cubit' atau 'hasta' dan dijadikan standar resmi kerajaan. Satu hasta sama dengan panjang lengan Fir'aun dari siku sampai ujung jari tengahnya. Satuan panjang ini kemudian direkam dengan cara ditatah pada batu granit hitam, yang kemudian diperbanyak dengan granit dan kayu yang dibagikan kepada para pekerja. Sebagai ukuran panjang standar kerajaan maka semua orang bisa membuat batang ukuran sesuai dengan standar kerajaan.

Untuk mengukur panjang yang lebih kecil diperlukan subdivisi dari ukuran hasta kerajaan. Meskipun mungkin berpikir ada logika tak terhindarkan dalam membagi secara sistematis, ini mengabaikan cara mengukur tumbuh dengan orang mengukur panjang pendek menggunakan bagian lain dari tubuh manusia. Digit adalah unit dasar terkecil, yang luasnya jari. Ada 28 digit dalam satu hasta, 4 digit sama dengan 1 palm, 3 palm (12 digit) sama dengan 1 span kecil, 14 digit (atau satu hasta setengah) sama dengan 1 span besar, 24 digit sama dengan satu hasta kecil, 28 digit sama dengan 1 hasta dan beberapa pengukuran serupa lainnya. Apabila salah satu menginginkan ukuran lebih kecil dari digit, maka untuk ini Mesir menggunakan langkah-langkah terdiri dari pecahan satuan.

Hal ini tidak mengherankan bahwa matematika paling awal yang turun sampai sekarang, menitikberatkan pada masalah tentang berat dan ukuran. Papyrus Mesir, misalnya, berisi metode untuk memecahkan persamaan yang timbul dari masalah tentang berat dan ukuran.

### **Babilonia**

Peradaban selanjutnya yang memiliki standar berat dan sistem ukuran, dan memiliki pengaruh luas adalah Babilonia sekitar 1700 SM. Unit panjang dasar mereka, seperti Mesir, yaitu hasta. Ukuran hasta bangsa Babilon (530 mm), satuan ukuran ini sedikit lebih panjang daripada ukuran hasta Mesir (524 mm). Ukuran hasta bangsa Babilonia disebut Kus. Kus kemudian dibagi menjadi 30 bagian

yang disebut shusi (1 kus = 30 shusi). Selain ukuran hasta bangsa Babilon juga memiliki satuan panjang kaki (*foot*) yang besarnya  $\frac{2}{3}$  satuan hasta.

### **Harappa**

Peradaban Harappa (*Harappan Civilisation*) berkembang di Punjab (dikenal juga dengan Peradaban Lembah Indus) antara 2500 SM sampai 1700 SM. Masyarakat Lembah Indus tampaknya telah mengadopsi sistem yang seragam untuk ukuran berat dan ukuran panjang. Analisa bobot yang ditemukan pada penggalian situs bangsa Harappa menunjukkan bahwa mereka memiliki dua seri yang berbeda, dengan masing-masing angka desimal dikalikan dan dibagi dua. Seri utama memiliki rasio 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 200, dan 500. Beberapa skala untuk pengukuran panjang juga ditemukan selama penggalian. Salah satunya adalah skala unit pengukuran dengan panjang 1,32 inci (3,35 cm) yang disebut sebagai "Indus Inch". Skala ukuran panjang lain yang ditemukan adalah sebatang perunggu yang memiliki tanda di panjang 0,367 inci. Hal ini tentu mengejutkan keakuratan dengan yang skala ini ditandai. Sekarang 100 unit ukuran ini adalah 36,7 inci (93 cm) yang merupakan ukuran panjang sebuah langkah. Pengukuran reruntuhan bangunan yang telah digali menunjukkan bahwa satuan panjang yang akurat telah digunakan oleh Harappans dalam konstruksi mereka.

### **Eropa**

Sistem pengukuran di Eropa awalnya didasarkan pada ukuran Romawi, yang pada pada mulanya didasarkan kepada sistem ukuran bangsa Yunani. Orang Yunani menggunakan ukuran dasar adalah panjang lebar jari (sekitar 19,3 mm atau 0,76 inci), dengan 16 jari sama dengan satu kaki, dan 24 jari sama dengan satu hasta Yunani. Satuan panjang Yunani kemungkinan besar berasal dari satuan Mesir dan Babilonia. Perdagangan adalah alasan utama karena pada saat itu pusat perdagangan di Mediterania jatuh ke tangan Yunani. Dan pada sekitar 400 SM Athena merupakan pusat perdagangan dari wilayah yang luas. Kebanyakan perselisihan akan timbul berkaitan dengan bobot dan ukuran barang yang diperdagangkan, dan ada satu set standar tindakan disimpan agar sengketa seperti itu sedapat mungkin diselesaikan secara adil. Ukuran wadah untuk mengukur kacang, kurma, kacang, dan barang-barang seperti lainnya, telah ditetapkan oleh

hukum dan jika ditemukan sebuah wadah yang tidak sesuai dengan standar, isinya disita dan wadah akan dihancurkan.

Bangsa Romawi mengadaptasi sistem Yunani. Mereka memiliki ukuran dasar kaki yang terbagi menjadi 12 inci. Bangsa Romawi tidak menggunakan hasta, tetapi, mungkin karena sebagian besar pengukuran basis ukuran mereka berasal dari gerakan, mereka memiliki lima kaki (feet) sama dengan satu langkah (pace). Kemudian 1.000 langkah sama dengan 1 mil Romawi yang cukup dekat dengan satu mil Inggris yang digunakan saat ini. Sistem Romawi kemudian banyak diadopsi dengan variasi lokal, ke seluruh Eropa sebagai penyebaran Kekaisaran Romawi.

Pada awal abad ke-13, kerajaan Inggris mengeluarkan peraturan mengenai satuan berat dan dan satuan panjang. Dalam peraturan tersebut diberikan definisi yang jelas tentang ukuran yang resmi digunakan di wilayah Britania Raya. Peraturan tersebut kemudian dikenal dengan *The Magna Charta* (1215). Selanjutnya pada masa pemerintahan King Edward I dikenal satuan inchi yang panjangnya sama dengan tiga buah biji jagung yang disusun berjajar.

#### **Meter: Standar Panjang Internasional**

Sementara itu di Perancis memiliki lebih dari 250.000 satuan yang berbeda. Diderot dan d'Alembert dalam *Encyclopédie* mereka sangat menyesali keragaman ukuran tersebut, tetapi tidak melihat solusi yang dapat diterima untuk masalah tersebut. Beberapa ilmuwan Perancis telah mengusulkan sistem ukuran yang seragam setidaknya 100 tahun sebelum Revolusi Perancis. Gabriel Mouton, pada tahun 1670, menyarankan bahwa dunia harus mengadopsi skala pengukuran seragam berdasarkan *mille*, yang didefinisikan sebagai ukuran panjang satu menit dari busur bumi. Ia mengusulkan bahwa subdivisi desimal harus digunakan untuk menentukan satuan panjang yang lebih pendek. Lalande, seorang astronom perancis, pada bulan April 1789, mengusulkan agar satuan ukuran yang digunakan di Paris harus menjadi yang satuan nasional. Proposal ini telah diajukan kepada Majelis Nasional pada Februari 1790, namun pada bulan Maret saran yang berbeda dibuat. Talleyrand mengajukan kepada Majelis Nasional proposal yang disebut dengan *Condorcet*, yaitu bahwa suatu sistem pengukuran baru yang

diadopsi berdasarkan panjang dari alam. Sistem harus memiliki subdivisi desimal, semua ukuran luas, volume, berat dan lainnya harus dihubungkan ke unit dasar panjang tersebut.

Proposal ini tidak hanya dirancang untuk sistem pengukuran Prancis tetapi untuk merancang sistem pengukuran internasional. Untuk tujuan tersebut maka kesepakatan juga melibatkan dari negara-negara lain. Mulai saat itulah dikenal istilah meter (berasal dari bahasa Yunani ‘metron’ yang berarti dimensi), yaitu;

*“satu meter adalah sepersepuluh juta dari seperempat keliling bumi, diukur dari kutub utara sampai khatulistiwa yang melalui kota Paris dari Dankirk (pantai utara Perancis) sampai Barcelona (Spanyol)”*

Maka pada tahun 1792-1798 dilakukan pengukuran. Dan pada tahun 1799 hasil pengukuran tersebut diwujudkan dengan batang platinum berpenampang segi empat. Karena ukuran meter adalah jarak antara kedua ujung batang tersebut maka dinamakan dengan *End-Standard*.



Gambar 3.2 Pengukur Eropa

Pada tahun 1875 sebuah perusahaan di London (Jhonshon & Matthey) berhasil membuat 30 batang platinum-iridium dengan komposisi yang teliti. Batang tersebut berpenampang X (ukuran 20 x 20 mm, berat 3,3 kg), jika diukur antara garis di kedua ujungnya pada suhu 0°C panjangnya adalah satu meter. Karena menggambarkan jarak antara dua buah garis maka acuan panjang ini disebut juga dengan *Line-Standard*

Pada tahun 1889 *International Committee on Weights and Measures*, sebuah badan internasional untuk pengukuran panjang dan berat, menetapkan *line-standard* sebagai satu-satunya standar panjang yang sah. Meskipun demikian beberapa pihak merasa berkeberatan dengan berbagai alasan.

Albert Abraham Michelson, seorang ahli fisika Amerika kelahiran Jerman, berhasil mengukur panjang gelombang cahaya. Dengan interferometer ciptaannya Albert Michelson mampu mengukur panjang gelombang spektrum merah yang dipancarkan lampu Cadmium. Maka pada tahun 1906 beberapa ahli dari Perancis (Benoit, Farby & Perrot) berhasil menyempurnakan prosedur pengukuran panjang gelombang cahaya tersebut. Dan pada sidang ke-7 tahun 1927, CGPM (*Conference Generale des Poids et Measures*) menetapkan definisi meter sebagai:

*”satu meter adalah ukuran yang sama dengan 1.552.164,13 kali panjang gelombang spektrum merah dari sumber cahaya lampu berisi gas inert Cadmium yang diukur di atmosfer”*

Kemudian pada sidang ke-11 CGPM tahun 1960 disempurnakan dengan:

*”satu meter didefinisikan sebanding dengan 1.650.763,73 panjang gelombang yang dipancarkan atom Krypton-86”*

Dan pada tahun 1983 didefinisikan ulang dalam laju cahaya. Definisi baru ini menyatakan bahwa:

*”satu meter adalah panjang lintasan yang dilalui cahaya (laser helium-neon yang distabilkan dengan iodine) dalam hampa selama interval waktu 1/299.792.458 detik”*

Definisi yang terakhir ini dapat berlaku universal karena kecepatan laju cahaya dalam ruang hampa di manapun sama. Kecepatan cahaya juga tidak akan berubah karena pengaruh korosi sebagaimana batang meter yang pernah dibuat.

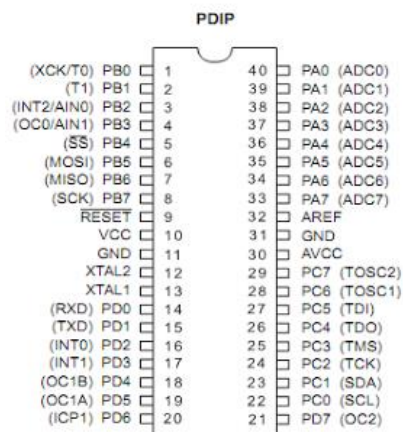
### 3.2 ATMEGA32

AVR Atmega32 merupakan sebuah mikrokontroler *low power* CMOS 8 bit berdasarkan arsitektur AVR RISC. Mikrokontroler ini memiliki karakteristik sebagai berikut.

Menggunakan arsitektur AVR RISC

- 1) 131 perintah dengan satu *clock cycle*
- 2) 32 x 8 register umum
  - a) Data dan program memori
- 3) 32 Kb *In-System Programmable Flash*
- 4) 2 Kb SRAM
- 5) 1 Kb *In-System* EEPROM
  - a. 8 Channel 10-bit ADC
  - b. *Two Wire Interface*
  - c. *USART Serial Communication*
  - d. *Master/Slave SPI Serial Interface*
  - e. *On-Chip Oscillator*
  - f. *Watch-dog Timer*
  - g. 32 *Bi-directional I/O*
  - h. Tegangan operasi 2,7 – 5,5 V

Arsitektur AVR ini menggabungkan perintah secara efektif dengan 32 register umum. Semua register tersebut langsung terhubung dengan *Arithmetic Logic Unit (ALU)* yang memungkinkan 2 register terpisah diproses dengan satu perintah tunggal dalam satu *clock cycle*. Hal ini menghasilkan kode yang efektif dan kecepatan prosesnya 10 kali lebih cepat dari pada mikrokontroler CISC biasa. Berikut adalah blok diagram Mikrokontroler AVR ATmega32.



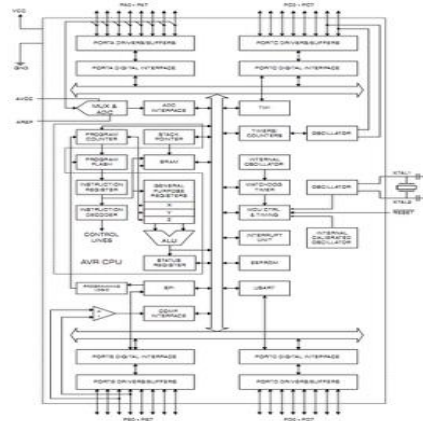
Gambar 3.3 Blok diagram AVR ATmega32

(Sumber : Atmel corporation, Agustus 2014)



## Konfigurasi pin Mikrokontroler AVR ATmega32

Berikut ini adalah konfigurasi pin Atmega 32



Gambar 3.4 Pin-pin ATmega32

Gambar 3.3 Blok diagram AVR ATmega32 Secara fungsional konfigurasi pin ATmega32 adalah sebagai berikut:

- a. VCC
  1. Tegangan sumber
- b. GND (Ground)
  2. Ground
- c. Port A (PA7 – PA0)

Port A adalah 8-bit port I/O yang bersifat bi-directional dan setiap pin memiliki internal pull-up resistor. Output buffer port A dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port A digunakan sebagai input dan di pull-up secara langsung, maka port A akan mengeluarkan arus jika internal pull-up resistor diaktifkan. Pin-pin dari port A memiliki fungsi khusus yaitu dapat berfungsi sebagai channel ADC (*Analog to Digital Converter*) sebesar 10 bit. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port A dapat ditabelkan seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Fungsi khusus *port A*

Port	Alternate Function
PA7	ADC7 (ADC input channel 7)



PA6	<i>ADC6 (ADC input channel 6)</i>
PA5	<i>ADC5 (ADC input channel 5)</i>
PA4	<i>ADC4 (ADC input channel 4)</i>
PA3	<i>ADC3 (ADC input channel 3)</i>
PA2	<i>ADC2 (ADC input channel 2)</i>
PA1	<i>ADC1 (ADC input channel 1)</i>
PA0	<i>ADC0 (ADC input channel 0)</i>

d. Port B (PB7 – PB0)

Port B adalah 8-bit port I/O yang bersifat bi-directional dan setiap pin mengandung internal pull-up resistor. Output buffer port B dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port B digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara *external*, port B akan mengalirkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan.

Pin-pin port B memiliki fungsi-fungsi khusus, diantaranya :

- a) SCK port B, bit 7

Input pin *clock* untuk *up/downloading memory*.

- b) MISO port B, bit 6

Pin output data untuk *uploading memory*.

- c) MOSI port B, bit 5

Pin input data untuk *downloading memory*.

Fungsi-fungsi khusus pin-pin port B dapat ditabelkan seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Fungsi khusus *port B*

Port	Alternate Function
PB7	SCK ( <i>SPI Bus Serial Clock</i> )
PB6	MISO ( <i>SPI Bus Master Input/Slave Output</i> )
PB6	MOSI ( <i>SPI Bus Master Output/Slave Input</i> )
PB5	SS ( <i>SPI Slave Select Input</i> )
PB3	AIN1 ( <i>Analog Comparator Negative Input</i> )
	OCO ( <i>Timer/Counter0 Output Compare Match Output</i> )

PB2	AIN0 ( <i>Analog Comparator Positive Input</i> ) INT2 ( <i>External Interrupt 2 Input</i> )
PB1	T1 ( <i>Timer/Counter1 External Counter Input</i> )
PB0	T0 ( <i>Timer/Counter External Counter Input</i> ) XCK ( <i>USART External Clock Input/Output</i> )

e. Port C (PC7 – PC0)

Port C adalah 8-bit port I/O yang berfungsi bi-directional dan setiap pin memiliki *internal pull-up* resistor. Output buffer port C dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port C digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara langsung, maka port C akan mengeluarkan arus jika *internal pull-up* resistor diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port C dapat ditabelkan seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 Fungsi khusus *port C*

Port	Alternate Function
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PC6	TD1 (JTAG Test Data In)
PC5	TD0 (JTAG Test Data Out)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC2	TCK (JTAG Test Clock)
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)

f. Port D (PD7 – PD0)

Port D adalah 8-bit port I/O yang berfungsi bi-directional dan setiap pin memiliki *internal pull-up* resistor. Output buffer port D dapat mengalirkan arus sebesar 20 mA. Ketika port D digunakan sebagai input dan di *pull-down* secara langsung, maka port D akan mengeluarkan arus jika *internal pull-up* resistor

diaktifkan. Fungsi-fungsi khusus pin-pin port D dapat ditabelkan seperti yang tertera pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Fungsi khusus *port D*

Port	<i>Alternate Function</i>
PD7	OC2 ( <i>Timer / Counter2 Output Compare Match Output</i> )
PD6	ICP1 ( <i>Timer/Counter1 Input Capture Pin</i> )
PD6	OCIB ( <i>Timer/Counter1 Output Compare B Match Output</i> )
PD5	TD0 ( <i>JTAG Test Data Out</i> )
PD3	INT1 ( <i>External Interrupt 1 Input</i> )
PD2	INT0 ( <i>External Interrupt 0 Input</i> )
PD1	TXD ( <i>USART Output Pin</i> )
PD0	RXD ( <i>USART Input Pin</i> )

### 3.3 Push Button

Swich Push Button adalah saklar tekan yang berfungsi untuk menghubungkan atau memisahkan bagian – bagian dari suatu instalasi listrik satu sama lain (suatu sistem saklar tekan *push button* terdiri dari saklar tekan start. Stop reset dn saklar tekan untuk emergency. *Push button* memiliki kontak NC (*normally close*) dan NO (*normally open*).

Prinsip kerja *Push Button* adalah apabila dalam keadaan normal tidak ditekan maka kontak tidak berubah, apabila ditekan maka kontak NC akan berfungsi sebagai stop dan kontak NO akan berfungsi sebagai start biasanya digunakan pada sistem pengontrolan motor – motor induksi untuk menjalankan mematikan motor pada industri – industry.

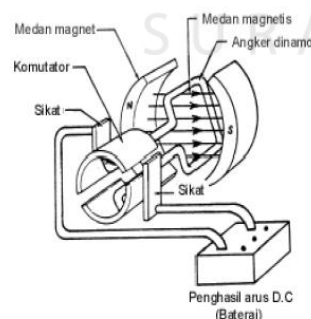


Gambar 3.5 *Push Button*

### 3.4 Motor DC

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri. Motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan bahwa motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen (Ilyas, 2012).



Gambar 3.6 Motor DC Sederhana

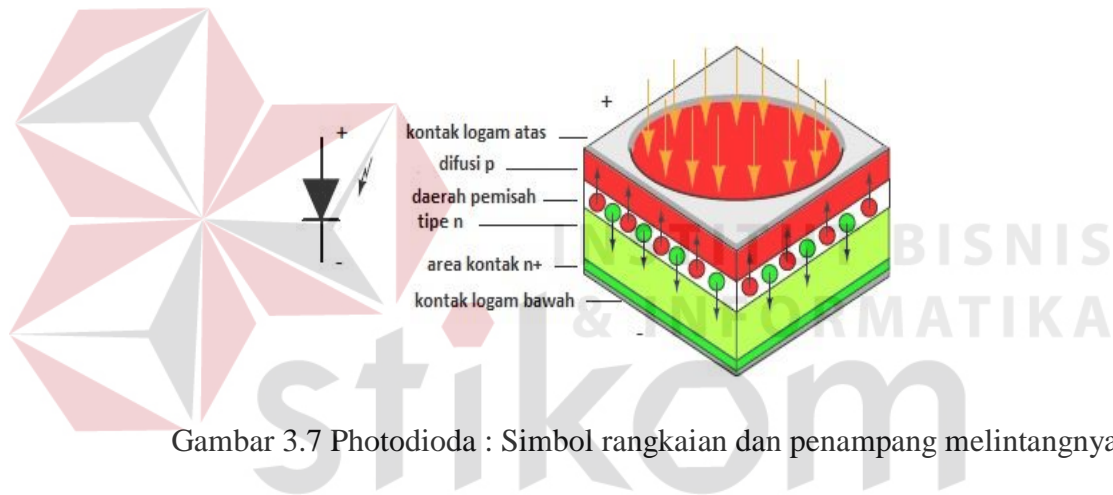
(Sumber : ilyas, 2012)

### 3.5 Photodiode

*Photodiode* adalah sebuah dioda yang dioptimasi untuk menghasilkan aliran elektron (atau arus listrik) sebagai respon apabila terpapar oleh sinar

ultraviolet, cahaya tampak, atau cahaya infra merah. Kebanyakan *photodiode* dibuat dari silikon, tetapi ada juga yang dibuat dari germanium dan galium arsenida. Daerah sambungan semikonduktor tipe P dan N tempat cahaya masuk harus tipis sehingga cahaya bisa masuk ke daerah aktifnya (*active region*) atau daerah pemisahannya (*depletion region*) tempat dimana cahaya diubah menjadi pasangan elektron dan hole.

Lapisan tipe-P yang dangkal terdifusi ke lapisan jenis-N yang berada pada gambar 3.7, menghasilkan sambungan PN didekat permukaan lapisan “*wafer*” tersebut. Lapisan tipe-P harus tipis sehingga bisa melewatkan cahaya sebanyak mungkin. Difusi tipe-N yang banyak ada di belakang lapisan “*wafer*” tersebut menempel dengan kontak logam.

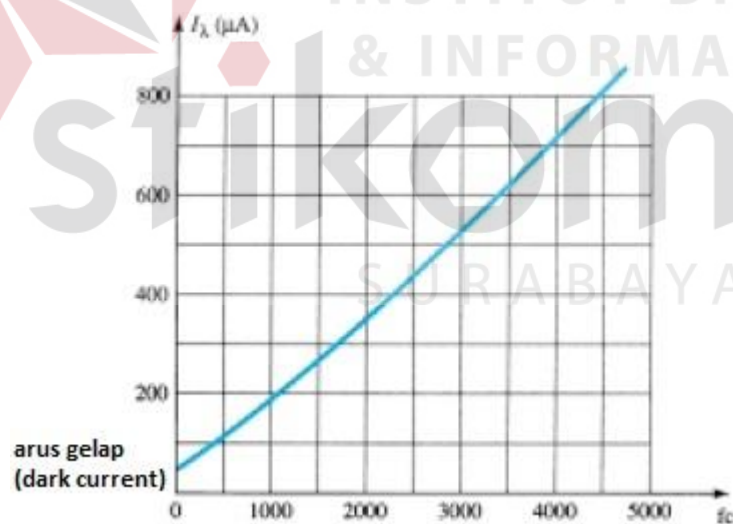


Gambar 3.7 Photodiode : Simbol rangkaian dan penampang melintangnya

Cahaya yang masuk ke bagian atas photodiode masuk ke dalam lapisan *semikonduktor*. Lapisan tipe-P yang tipis di atas membuat banyak foton melewatinya menuju daerah pemisah (*depletion region*) tempat dimana pasang *elektron* dan *hole* terbentuk. Medan listrik yang tercipta di daerah pemisah menyebabkan *elektron* tertarik ke lapisan N, sedangkan *hole* ke lapisan P. Sebenarnya, pasangan *elektron* dan *hole* bisa dibentuk pada semua daerah dari bahan *semikonduktor*. Namun, pasangan *elektron* dan *hole* yang tercipta di daerah pemisah akan terpisah ke daerah masing-masing yaitu daerah P dan N. Banyak pasangan *elektron* dan *hole* yang terbentuk di daerah P dan N mengalami rekombinasi. Hanya ada beberapa yang berekombinasi di daerah pemisah. Oleh karena itu, hanya ada sedikit pasangan *hole* dan elektron yang ada di daerah N dan

P, dan pasangan hole-elektron di daerah pemisah adalah yang menyebabkan terjadinya arus listrik pada saat photodiode terkena cahaya (*photocurrent*).

Tegangan dari photodiode bisa kita cek dengan melakukan percobaan. Penggunaan *photodiode* pada *mode photovoltaic* (PV) tidak linier dalam range yang sangat dinamis, selain itu juga sensitif dan memiliki noise yang rendah pada frekuensi di bawah 100 kHz. Mode operasi yang paling banyak digunakan adalah mode photocurrent (PC) karena arus yang dihasilkan lebih proporsional/linier terhadap jumlah fluks cahaya dengan intensitas tertentu, selain itu juga respon frekuensinya juga lebih tinggi. Kurva yang menunjukkan hubungan antara intensitas cahaya dengan arus yang dihasilkan oleh photodiode ditunjukkan pada gambar 3.8. *Mode photocurrent* bisa dicapai dengan menempatkan *photodiode* dalam kondisi bias terbalik (*reverse bias*). Penguat arus (*penguat transimpedansi*) harus digunakan dengan photodiode yang memiliki mode photocurrent. Linieritas pada mode photocurrent bisa dicapai selama photodiode tidak sampai dalam kondisi bias maju (*forward bias*).

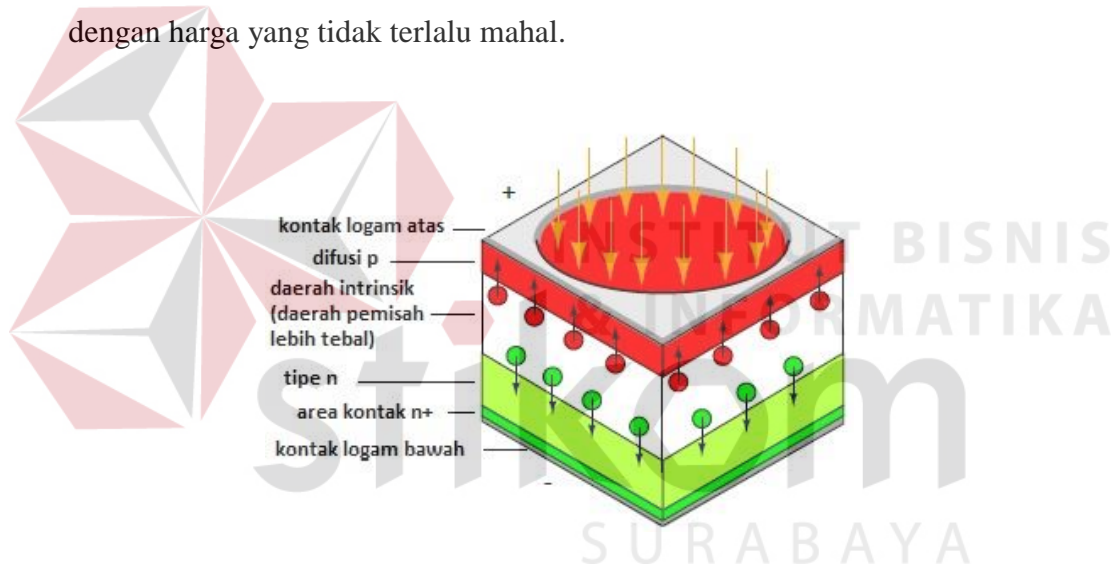


Gambar 3.8 Hubungan antara intensitas cahaya dengan arus yang dihasilkan pada photodiode

Photodiode juga sering digunakan untuk kecepatan tinggi. Masalah kecepatan respon maka erat kaitannya dengan efek kapasitansi parasit pada photodiode, dimana kapasitansi parasit ini bisa diminimalisir dengan mengurangi luas permukaan cell nya. Oleh karena itu, sensor pada sambungan fiber optik

berkecepatan tinggi memiliki luasan permukaan hanya sekitar  $1 \text{ mm}^2$ . Kapasitansi parasit juga bisa dihilangkan dengan meningkatkan ketebalan daerah pemisah yang dilakukan pada saat proses manufakturnya. Selain itu juga bisa diperkecil dengan meningkatkan tegangan balik (*reverse voltage*) pada photodioda.

Dioda PIN adalah sebuah photodioda dengan lapisan tambahan diantara daerah P dan N nya seperti ditunjukkan pada gambar 3.9. Struktur intrinsik P dalam N meningkatkan jarak antara lapisan P dan N, sehingga kapasitansinya menurun, dan kecepatannya naik. Volume dari daerah yang sensitif terhadap cahaya (*photo sensitive*) juga meningkat, meningkatkan efisiensi konversi cahaya menjadi listrik. *Bandwidth* dari *photodioda* dapat ditingkatkan hingga 10 GHz. Photodioda PIN memiliki sensitifitas yang tinggi dan kecepatan yang tinggi dengan harga yang tidak terlalu mahal.



Gambar 3.9 Photodioda PIN : penambahan daerah instrinsik dapat meningkatkan ketebalan daerah pemisah sehingga menurunkan efek kapasitansi parasit

*Photodioda Avalence* (APD) didisain untuk beroperasi pada tegangan bias terbalik (*reverse bias*) yang sangat tinggi menghasilkan efek melipatgandakan elektron sama seperti photomultiplier tube. Tegangan balik (*reverse voltage*) pada photodioda sekitar 10 V hingga 2000 V. Tegangan bias terbalik yang sangat tinggi ini mempercepat proses perubahan *elektron* menjadi pasangan *elektron-hole* pada daerah instrinsik sehingga memiliki kecepatan yang cukup pada pembawa tambahan (*additional carriers*) dari proses tumbukan dengan kisi-



kisi kristal. Sehingga lebih banyak *elektron* yang dihasilkan dari sebuah foton. Tujuan dari APD adalah melakukan penguatan di dalam *photodiode* sehingga mengatasi *noise* pada *amplifier* eksternalnya. Tetapi APD menghasilkan *noise* nya sendiri. Pada kecepatan tinggi, APD lebih unggul dari kombinasi penguat dioda PIN, tetapi tidak untuk aplikasi kecepatan rendah. APD sangat mahal, kira-kira hampir sama dengan tabung photomultiplier. Sehingga APD unggul terhadap photodiode PIN hanya untuk aplikasi-aplikasi khusus. Salah satunya adalah pada aplikasi penghitung foton tunggal pada fisika nuklir.

Cahaya memiliki energi berupa paket-paket energi yang disebut dengan foton. Energi foton ini bergantung pada frekuensi dari gelombang cahaya tersebut sesuai dengan persamaan

$$W = hf$$

dimana  $h$  adalah konstanta Planck yang memiliki nilai sebesar  $6.624 \times 10^{-34}$  J/s.  $h$  adalah suatu konstanta, energi bergantung pada frekuensi gelombang cahaya yang merambat. Sebaliknya, frekuensi ditentukan dari panjang gelombang dari cahaya yang merambat sesuai dengan persamaan

$$\lambda = v/f$$

dimana :

$\lambda$  adalah panjang gelombang dalam meter

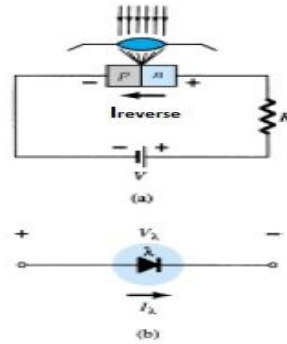
$v$  adalah kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/s

$f$  adalah frekuensi gelombang cahaya yang merambat dalam Hz

Umumnya panjang gelombang dinyatakan dalam satuan Angstrom ( $\text{\AA}$ ) atau mikrometer ( $\mu\text{m}$ ). Konversi satuan ini kedalam meter adalah

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} \quad \text{dan} \quad 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

Panjang gelombang adalah penting karena ia akan menentukan material apa yang akan digunakan pada divais optoelektronik tersebut. Respon spektral relatif untuk *Germanium* (Ge), *Silikon* (Si), dan *selenium* ditunjukkan pada gambar 3.10. Spektrum dari cahaya tampak juga dimasukkan dengan beberapa contoh warna.



Gambar 3.10 Respon spektral relatif untuk bahan silikon, germanium, dan selenium

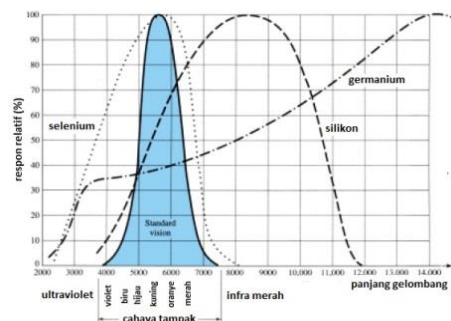
Jumlah elektron bebas yang dihasilkan dari masing-masing material linier dengan intensitas cahaya yang menerpa photodiode tersebut. Intensitas cahaya memiliki parameter fluks lumen per satuan luas. Fluks lumen diukur dalam satuan lumen (lm) atau watt. Kedua satuan tersebut memiliki hubungan

$$1 \text{ lm} = 1.496 \times 10^{-10} \text{ W}$$

Intensitas cahaya biasanya diukur dengan satuan  $\text{lm/ft}^2$ , *footcandles*, atau  $\text{W/m}^2$ , dimana

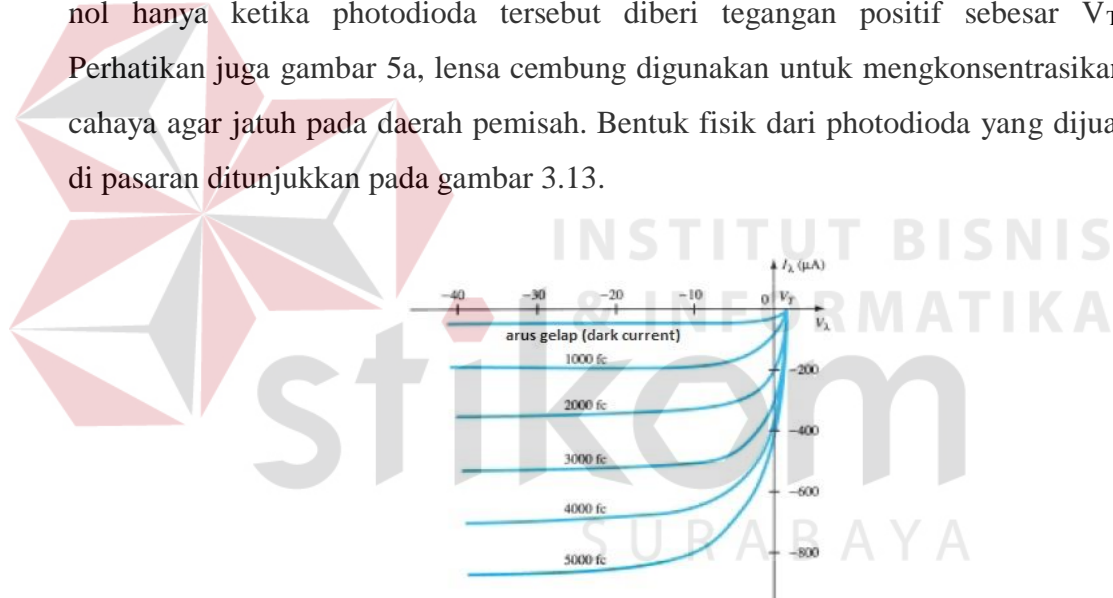
$$1 \text{ lm/ft}^2 = 1 \text{ fc} = 1.609 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$$

Photodiode adalah semikonduktor jenis sambungan PN dimana daerah operasinya adalah pada mode bias terbalik (*reverse bias*). Rangkaian dasar dari photodiode, konstruksinya, serta simbolnya ditunjukkan pada gambar 3.11.

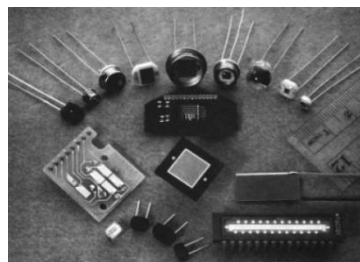


Gambar 3.11 (a) Cara melakukan bias pada photodiode. (b) Simbol photodiode

Prinsip kerja pada dioda bahwa arus saturasi dalam mode bias terbalik terbatas hanya beberapa mikro ampere. Arus tersebut disebabkan aliran dari pembawa minoritas yang terdapat pada meterial tipe P dan tipe N. Apabila ada cahaya yang mengenai sambungan PN nya, maka akan dihasilkan transfer energi dari rambatan gelombang cahaya (dalam bentuk foton) menjadi struktur atomik, menghasilkan peningkatan jumlah pembawa minoritas (*minority carriers*) dan meningkatkan level dari arus balik. Perhatikan grafik pada gambar 3.12 menunjukkan hubungan antara arus dan tegangan photo dioda dalam mode bias terbalik untuk berbagai level intensitas cahaya. Arus gelap (*dark current*) adalah arus yang mengalir pada saat tidak ada cahaya yang mengenai photodioda. Perhatikan bahwa arus yang mengalir pada photodioda akan benar-benar menjadi nol hanya ketika photodioda tersebut diberi tegangan positif sebesar  $V_T$ . Perhatikan juga gambar 5a, lensa cembung digunakan untuk mengkonsentrasikan cahaya agar jatuh pada daerah pemisah. Bentuk fisik dari photodioda yang dijual di pasaran ditunjukkan pada gambar 3.13.

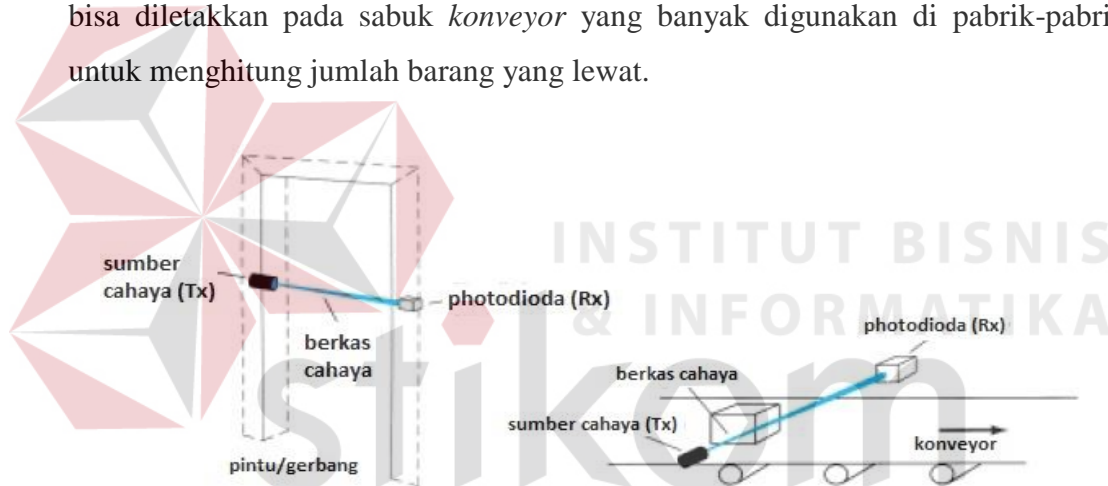


Gambar 3.12 Hubungan arus dan tegangan pada photodioda dalam beberapa *level* intensitas cahaya



Gambar 3.13 Bentuk fisik photodioda yang dijual di pasaran

Salah satu penggunaan dari photodiode adalah pada sistem alarm sebagai keamanan, ditunjukkan pada gambar 3.14. Rangkaian tersebut terdiri dari sumber cahaya sebagai pemancar (Tx) dan photodiode sebagai penerima (Rx). Arus balik (*reverse current*) sebesar  $I_{\lambda}$  akan dihasilkan oleh photodiode selama cahaya yang dipancarkan oleh Tx mengenai photodiode. Tetapi arus yang mengalir pada photodiode akan menjadi minimum mendekati nol apabila ada penghalang diantara Tx dan Rx sehingga photodiode tidak bisa menangkap cahaya dari Tx. Begitu arus yang mengalir pada photodiode mendekati nol, maka sinyal ini akan diproses oleh suatu rangkaian (misalkan rangkaian yang terdiri dari gerbang logika) untuk menyalakan alarm. Sehingga, apabila ada orang yang berjalan melewati pintu tersebut, alarm akan berbunyi. Model rangkaian seperti ini juga bisa diletakkan pada sabuk *konveyor* yang banyak digunakan di pabrik-pabrik untuk menghitung jumlah barang yang lewat.

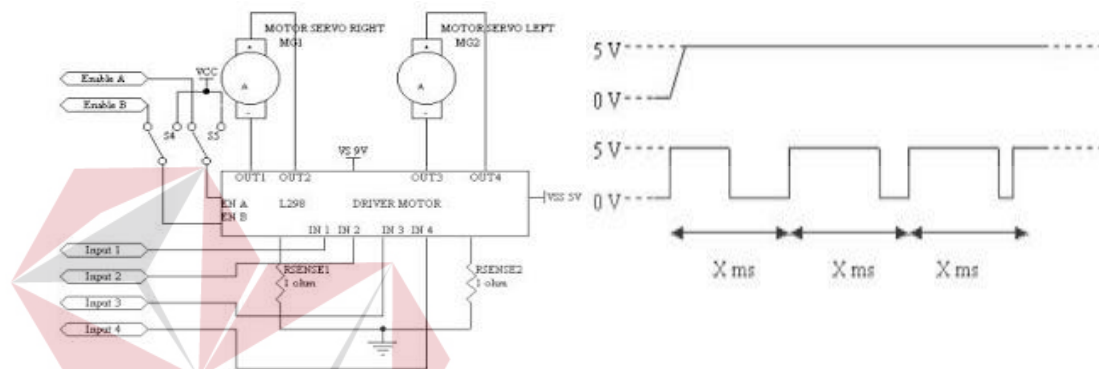


Gambar 3.14 (a) Photodiode digunakan sebagai sensor pada sistem keamanan. (b) Photodiode digunakan sebagai sensor pada alat pencacah jumlah barang

### 3.6 MOTOR Driver L298

Ada beberapa macam driver motor DC yang biasa kita pakai seperti menggunakan relay yang diaktifkan dengan transistor sebagai saklar, namun yang demikian dianggap tidak efisien dan terlalu sulit dalam pengerjaan *hardware*-nya. Dengan berkembangnya dunia *IC*, sekarang sudah ada *H-Bridge* yang dikemas dalam satu *IC* dimana memudahkan kita dalam pelaksanaan *hardware* dan kendalinya apalagi jika menggunakan mikrokontroler, saya rasa akan lebih mudah lagi penggunaannya. *IC* yang familiar seperti *IC* L298 dan L293, kedua *IC* ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Modul yang menggunakan IC driver L298 yang memiliki kemampuan menggerakkan motor DC sampai arus 4A dan tegangan maksimum 46 Volt DC untuk satu kanalnya. Rangkaian driver motor DC dengan IC L298 diperlihatkan pada gambar 2.7. Pin *Enable A* dan *B* untuk mengendalikan jalan atau kecepatan motor, pin *Input 1* sampai 4 untuk mengendalikan arah putaran. Pin *Enable* diberi VCC 5 Volt untuk kecepatan penuh dan PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk kecepatan rotasi yang bervariasi tergantung dari level highnya. Ilustrasinya ditunjukkan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Rangkaian Driver motor DC dengan L298 dan ilustrasi Timing enable pada IC

### 3.7 POTENSIOMETER

*Potensiometer* adalah sebuah resistor yang nilai hambatannya dapat diatur atau dapat dirubah. Simbol potensiometer atau simbol resistor variabel dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.16 variabel resistor

Nilai hambatan dari *potensiometer* ada beragam ada 50K, 100K, dll, sebagai contohnya dapat dilihat pada volume radio atau amplifier yang menggunakan tombol yang diputar. Didalam tombol tersebut sebenarnya adalah berisi potensio yang nilai hambatannya dapat digeser, jadi dengan berubahnya nilai tahanan dari resistor maka volume akan semakin tinggi atau semakin rendah.



Gambar 3.17 *Potensiometer*

*Potensiometer* merupakan salah satu jenis resistor variabel, ada tipe yang lainnya yaitu trimpot. Trimpot memiliki bentuk yang lebih kecil daripada potensio, memiliki 3 kaki dengan poros tengah yang dapat diputar. Fungsi trimpot adalah sama dengan *potensiometer* yaitu untuk mengatur besar-kecilnya tahanan atau sebagai penghambat yang bisa diatur.

### 3.8 LED (*Light Emitting Diode*)

Lampu LED atau kepanjangannya *Light Emitting Diode* adalah suatu lampu *indikator* dalam perangkat elektronika yang biasanya memiliki fungsi untuk menunjukkan status dari perangkat elektronika tersebut. Misalnya pada sebuah komputer, terdapat lampu LED *power* dan LED *indikator* untuk *processor*, atau dalam monitor terdapat juga lampu LED *power* dan *power saving*. Lampu LED terbuat dari plastik dan dioda *semikonduktor* yang dapat menyala apabila dialiri tegangan listrik rendah (sekitar 1.5 volt DC). Berbagai macam warna dan bentuk dari lampu LED, disesuaikan dengan kebutuhan dan fungsinya

#### **Fungsi Lampu LED**

LED (*Light Emitting Diode*) merupakan sejenis lampu yang akhir-akhir ini muncul dalam kehidupan kita. LED dulu umumnya digunakan pada gadget seperti ponsel atau PDA serta komputer. Sebagai pesaing lampu bohlam dan neon, saat ini aplikasinya mulai meluas dan bahkan bisa kita temukan pada korek api yang kita gunakan, lampu emergency dan sebagainya. Led sebagai model lampu masa depan dianggap dapat menekan pemanasan global karena efisiensinya. Lampu LED sekarang sudah digunakan untuk:

- a) Penerangan untuk rumah
- b) Penerangan untuk jalan

- c) Lalu lintas
- d) *Advertising*
- e) Interior/eksterior gedung



Gambar 3.18 Cahaya Led

Kualitas cahayanya memang berbeda dibandingkan dengan lampu TL atau lampu lainnya. Tingkat pencahayaan LED dalam ruangan memang tak lebih terang dibandingkan lampu neon, inilah mengapa LED dianggap belum layak dipakai secara luas. Untungnya para ilmuwan di University of Glasgow menemukan cara untuk membuat LED bersinar lebih terang. Solusinya adalah dengan membuat lubang mikroskopis pada permukaan LED sehingga lampu bisa menyala lebih terang tanpa menggunakan tambahan energi apapun. Pelubangan tersebut menerapkan sistem *nano-imprint lithography* yang sampai saat ini proyeknya masih dikembangkan bersama-sama dengan Institute of Photonics.

Sementara ini beberapa jenis lampu LED sudah dipasarkan oleh Philips. Anda bisa menemui beberapa model lampu LED bergaya bohlam yang hadir dalam warna putih susu dan juga warna-warni. Daya yang diperlukan lampu jenis ini hanya sekitar 4-10 watt saja dibandingkan lampu neon sejenis yang mencapai 12-20 watt. Jika dihitung secara seksama memang bisa diakui bahwa lampu LED menggunakan daya yang lebih hemat daripada lampu TL.

### **LED sebagai Sumber Cahaya Masa Depan**

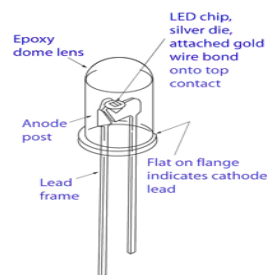
Sumber cahaya dari waktu ke waktu semakin berkembang, mulai dari penemuan lampu pijar oleh Edison dan dalam waktu yang hampir bersamaan ditemukan juga lampu *fluorescence* (TL) dan merkuri. Saat ini ada beberapa jenis



lampu yang digunakan manusia untuk berbagai keperluan, yaitu lampu pijar, TL, LED, Merkuri, Halogen, Sodium dan sebagainya. Namun masih ada kekurangan pada lampu generasi pertama sehingga lampu terus dikembangkan agar bisa menghasilkan cahaya yang terang, memberikan warna yang bagus, hemat energi, portable (mudah dibawa) dan lain sebagainya. Yang paling menarik dari beberapa jenis lampu adalah LED.

### LED Sebagai Dioda *Semikonduktor*

*Light Emitting Diode* (LED) merupakan jenis dioda *semikonduktor* yang dapat mengeluarkan energi cahaya ketika diberikan tegangan.



Gambar 3.19 Struktur Dasar LED

*Semikonduktor* merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik, meskipun tidak sebaik konduktor listrik. *Semikonduktor* umumnya dibuat dari konduktor lemah yang diberi pengotor berupa material lain. Dalam LED digunakan *konduktor* dengan gabungan unsur logam aluminium-gallium-arsenit (AlGaAs). Konduktor AlGaAs murni tidak memiliki pasangan elektron bebas sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik. Oleh karena itu dilakukan proses *doping* dengan menambahkan elektron bebas untuk mengganggu keseimbangan *konduktor* tersebut, sehingga material yang ada menjadi semakin konduktif.

### Proses Pembangkitan Cahaya pada LED

Cahaya pada dasarnya terbentuk dari paket-paket partikel yang memiliki energi dan momentum, tetapi tidak memiliki massa. Partikel ini disebut foton. Foton dilepaskan sebagai hasil pergerakan elektron. Pada sebuah atom, elektron bergerak pada suatu orbit yang mengelilingi sebuah inti atom. Elektron pada orbital yang berbeda memiliki jumlah energi yang berbeda. Elektron yang berpindah dari orbital dengan tingkat energi lebih tinggi ke orbital dengan tingkat

energi lebih rendah perlu melepas energi yang dimilikinya. Energi yang dilepaskan ini merupakan bentuk dari foton. Semakin besar energi yang dilepaskan, semakin besar energi yang terkandung dalam foton.

Pembangkitan cahaya pada lampu pijar adalah dengan mengalirkan arus pada filamen (kawat) yang letaknya ada ditengah-tengah bola lampu dan menyebabkan filamen tersebut panas, setelah panas pada suhu tertentu (tergantung pada jenis bahan filamen), filamen tersebut akan memancarkan cahaya. Namun karena pada lampu pijar yang memancarkan cahaya adalah filamen yang terbakar, tapi jika suhu pada filamen melewati batas kemampuan filamen untuk menahan panas, akan mengakibatkan filamen lampu pijar sedikit demi sedikit meleleh dan selanjutnya putus sehingga lampu pijar tidak akan bisa memancarkan cahaya lagi. Umur dari lampu pijar kurang lebih sekitar 2000 jam. Sedangkan pada lampu *fluorescence* atau lampu TL, proses pembangkitan cahaya hanya memanfaatkan ionisasi gas dalam tabung lampu lalu diberikan beda potensial diantara kedua ujung tabung lampu TL sehingga mengakibatkan loncatan-loncatan elektron dari ujung yang satu ke ujung yang lain dan saat terjadi loncatan elektron bersamaan dengan dipancarkannya cahaya dari loncatan tersebut. Kekurangan dari lampu TL adalah jika gas yang ada dalam tabung habis, maka cahayanya tidak bisa dipancarkan lagi. Umur dari lampu TL relatif lebih lama daripada lampu pijar.

Ketika sebuah dioda sedang mengalirkan elektron, terjadi pelepasan energi yang umumnya berbentuk emisi panas dan cahaya. Material semikonduktor pada dioda sendiri menyerap cukup banyak energi cahaya, sehingga tidak seluruhnya dilepaskan. LED merupakan dioda yang dirancang untuk melepaskan sejumlah banyak foton, sehingga dapat mengeluarkan cahaya yang tampak oleh mata. Umumnya LED dibungkus oleh bohlam plastik yang dirancang sedemikian sehingga cahaya yang dikeluarkan terfokus pada suatu arah tertentu.

Setiap material hanya dapat mengemisikan foton dalam rentang frekuensi sangat sempit. LED yang menghasilkan warna berbeda terbuat dari material semikonduktor yang berbeda pula, serta membutuhkan tingkat energi berbeda untuk menghasilkan cahaya. Misalnya AlGaAs - merah dan inframerah, AlGaP - hijau, GaP - merah, kuning dan hijau.

## LED sebagai sumber cahaya

Lampu pijar lebih murah tapi juga kurang efisien dibanding LED. Lampu TL lebih efisien daripada lampu pijar, tapi butuh tempat besar, mudah pecah dan membutuhkan *starter* atau rangkaian *ballast* yang terkadang terdengar suara dengungnya.

LED mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan lampu pijar konvensional. LED tidak memiliki filamen yang terbakar, sehingga usia pakai LED jauh lebih panjang daripada lampu pijar, LED tidak memerlukan gas untuk menghasilkan cahaya. Selain itu bentuk dari LED yang sederhana, kecil dan kompak memudahkan penempatannya. Dalam hal efisiensi, LED juga memiliki keunggulan. Pada lampu pijar konvensional, proses produksi cahaya menghasilkan panas yang tinggi karena filamen lampu harus dipanaskan. LED hanya sedikit menghasilkan panas, sehingga porsi terbesar dari energi listrik yang ada digunakan untuk menghasilkan cahaya dan membuatnya jauh lebih efisien.

RGB (*Red Green Blue*) LED atau LED yang bisa mengeluarkan warna yang dipancarkan lebih dari satu warna sehingga memungkinkan aplikasi LED yang semakin luas, khususnya menambah keindahan dalam dunia desain interior dan eksterior.

Dalam terminologi teknik pencahayaan, LED dapat dikatakan memiliki tingkat efisiensi *luminus* (cahaya) atau efikasi yang tinggi, karena perbandingan banyaknya energi cahaya yang dikeluarkan LED dengan besarnya daya listrik yang dikonsumsinya cukup tinggi jika dibandingkan dengan lampu pijar konvensional.

Salah satu contoh produk dari LED adalah LedVision yang dikeluarkan oleh Philips sebagai *traffic light* (lampu lalu lintas) yang tersusun dari ribuan LED yang dipasangkan pada lampu lalu lintas dengan umur (*life time*) mencapai 100.000 jam atau sekitar 10 tahun lebih sehingga efektif dalam mengurangi biaya perawatan. Led Vision beroperasi pada tegangan rendah dan arus yang lebih kecil sehingga bisa menghemat sampai 90% energi listrik yang dikonsumsi oleh lampu pijar (yang sekarang banyak digunakan) dan umurnya 10 kali lebih panjang.

LED dengan cahaya monokromatiknya memiliki keunggulan kekuatan yang besar lebih dari cahaya putih ketika warna yang spesifik diperlukan. tidak seperti cahaya putih tradisional, LED tidak membutuhkan lapisan atau diffuser yang banyak mengabsorpsi cahaya yang dikeluarkan. cahaya LED mempunyai sifat warna tertentu, dan tersedia pada range warna yang lebar. salah satunya yang baru-baru ini warnanya diperkenalkan adalah *emerald green (bluish green*, panjang gelombangnya kira-kira 500nm) yang cocok dengan persyaratan sebagai sinyal lalu lintas dan cahaya navigasi. Cahaya LED kuning adalah pilihan bagus karena mata manusia sensitif pada cahaya kuning (kira-kira yang dipancarkan 500lm/watt).

Kelebihan LED dari lampu yang ada sekarang (lampu pijar, TL,dll) yaitu dalam hal efisiensi energi dan umur yang panjang menjadikan LED sangat berpotensi untuk dijadikan sumber pencahayaan pengganti lampu di masa depan.

**LED biru dan putih**



Gambar 3.20 GaN LED ultraviolet

LED biru pertama yang dapat mencapai keterangan komersial menggunakan substrat galium nitrida yang ditemukan oleh Shuji Nakamura tahun 1993 sewaktu berkarir di Nichia Corporation di Jepang. LED ini kemudian populer di penghujung tahun 90-an. LED biru ini dapat dikombinasikan ke LED merah dan hijau yang telah ada sebelumnya untuk menciptakan cahaya putih.

LED dengan cahaya putih sekarang ini mayoritas dibuat dengan cara melapisi substrat galium nitrida (GaN) dengan fosfor kuning. Karena warna kuning merangsang penerima warna merah dan hijau di mata manusia, kombinasi

antara warna kuning dari fosfor dan warna biru dari substrat akan memberikan kesan warna putih bagi mata manusia.

LED putih juga dapat dibuat dengan cara melapisi fosfor biru, merah dan hijau di substrat ultraviolet dekat yang lebih kurang sama dengan cara kerja lampu fluoresen.

Metode terbaru untuk menciptakan cahaya putih dari LED adalah dengan tidak menggunakan fosfor sama sekali melainkan menggunakan substrat selenida yang dapat memancarkan cahaya biru dari area aktif dan cahaya kuning dari substrat itu sendiri.

