

BAB II

DASAR TEORI

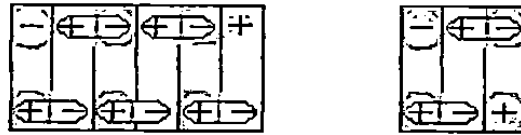
Sistem *Traffic Light* Menggunakan LED yang dibentuk susunan LED dimana pembentukan susunan nyala LED dikendalikan oleh saklar *LED* dan *software* yang disimpan ke dalam IC (*integrated circuit*) penyimpan dan pengendali. Alat ini dirancang dengan memanfaatkan salah satu komponen cerdas berupa mikrokontroler. Komponen ini dapat diperintah atau difungsikan dengan sangat kompleks atau dapat menangani berbagai tugas dengan disain rangkaian yang sangat ringkas. Tugas ataupun fungsi yang diinginkan dibuat dalam *routine* perintah sebagai suatu program (*software*) yang selanjutnya dimasukkan ke dalam memorinya untuk dijalankan berulang-ulang. Untuk mendapatkan unjuk kerja yang diinginkan maka perlu ditambahkan beberapa komponen agar menjadi sistem rangkaian yang lengkap.

A. Baterai / Aki

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian/*charge* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/*discharge* energi kimia diubah menjadi energi listrik.

Baterai (dalam hal ini adalah aki; aki mobil/motor) terdiri dari sel-sel dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12\text{ V} = 6$

2 V). Aki motor yang memiliki tegangan 6 V memiliki 3 sel yang dipasang



Gambar 2.1 . Sel baterai 12 volt dan 6 volt

Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor/merembes).

Di dalam satu sel terdapat susunan pelat-pelat yaitu beberapa pelat untuk kutub positif (antar pelat dipisahkan oleh kayu, ebonit atau plastik, tergantung teknologi yang digunakan) dan beberapa pelat untuk kutub negatif. Bahan aktif dari plat positif terbuat dari oksida timah coklat (PbO_2) sedangkan bahan aktif dari plat negatif ialah timah (Pb) berpori (seperti bunga karang). Pelat-pelat tersebut terendam oleh cairan elektrolit yaitu asam sulfat (H_2SO_4).

1. Prinsip Kerja Saat Baterai Mengeluarkan Arus

- a. Oksigen (O_2) pada pelat positif terlepas karena bereaksi/bersenyawa/bergabung dengan hidrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan-lahan keduanya bergabung/berubah menjadi air (H_2O).
- b. Asam (SO_4) pada cairan elektrolit bergabung dengan timah (Pb) di pelat positif maupun pelat negatif sehingga menempel di kedua pelat tersebut. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis alias dalam keadaan *discharge*.¹

¹ <http://Bismillah86.wordpress.com/2009/07/12/kegiatan-basis-aki-atau-accu/>

Air memiliki berat jenis 1 kg/dm^3 (1 kg per 1000 cm^3 atau 1 liter) dan asam sulfat memiliki berat jenis $1,285 \text{ kg/dm}^3$ pada suhu 20 derajat Celcius.

2. Prinsip Kerja Saat Baterai Menerima Arus

Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang disetrum/dicas alias sedang diisi dengan cara dialirkan listrik DC, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai 12 V dialiri tegangan 12 V DC, baterai 6 V dialiri tegangan 6 V DC, dan dua baterai 12 V yang dihubungkan secara seri dialiri tegangan 24 V DC (baterai yang duhubungkan seri total tegangannya adalah jumlah dari masing-masing tegangan baterai: $\text{Voltase}_1 + \text{Voltase}_2 = \text{Voltase}_{\text{total}}$). Hal ini bisa ditemukan di bengkel aki dimana ada beberapa baterai yang duhubungkan secara seri dan semuanya disetrum sekaligus. Berapa kuat arus (ampere) yang harus dialiri bergantung juga dari kapasitas yang dimiliki baterai tersebut (penjelasan tentang ini bisa ditemukan di bagian bawah).

Konsekuensinya, proses penerimaan arus ini berlawanan dengan proses pengeluaran arus, yaitu :

- a. Oksigen (O) dalam air (H_2O) terlepas karena bereaksi/bersenyawa/bergabung dengan timah (Pb) pada pelat positif dan

... menjadi oksida timah pelat (PbO_2)

b. Asam (SO_4) yang menempel pada kedua pelat (pelat positif maupun negatif) terlepas dan bergabung dengan hidrogen (H) pada air (H_2O) di dalam cairan elektrolit dan kembali terbentuk menjadi asam sulfat (H_2SO_4) sebagai cairan elektrolit. Akibatnya berat jenis cairan elektrolit bertambah menjadi sekitar 1,285 (pada baterai yang terisi penuh).³

3. Level Cairan Elektrolit

Pelat-pelat baterai harus selalu terendam cairan elektrolit, sebaiknya tinggi cairan elektrolit 4 - 10 mm di atas bagian tertinggi dari pelat. Bila sebagian pelat tidak terendam cairan elektrolit maka bagian pada pelat yang tidak terendam tersebut akan langsung berhubungan dengan udara akibatnya bagian tersebut akan rusak dan tak dapat dipergunakan dalam suatu reaksi kimia yang diharapkan, contoh, sulfat tidak bisa lagi menempel pada bagian dari pelat yang rusak, sebab itu bisa ditemukan konsentrasi sulfat yang sangat tinggi dari ruang sel yang sebagian pelatnya sudah rusak akibat sulfat yang sudah tidak bisa lagi bereaksi dengan bagian yang rusak dari pelat. Oleh karena itu kita harus memeriksa tinggi cairan elektrolit dalam baterai setidaknya 1 bulan sekali (kalau perlu tiap 2 minggu sekali agar lebih aman) karena senyawa dari cairan elektrolit bisa menguap terutama akibat panas yang terjadi pada proses pengisian (*charging*), misalnya pengisian yang diberikan oleh alternator.

Jika cairan terlalu tinggi, ini tidak baik karena cairan elektrolit bisa tumpah melalui lubang-lubang sel (misalnya pada saat terjadi pengisian) dan

dapat merusak benda-benda yang ada disekitar baterai akibat korosi, misalnya sepatu kabel, penyangga/dudukan baterai, dan bodi kendaraan akan terkorosi, selain itu proses pendinginan dari panasnya cairan elektrolit baterai oleh udara yang ada dalam sel tidak efisien akibat kurangnya udara yang terdapat di dalam sel, dan juga asam sulfat akan berkurang karena tumpah keluar; bila asam sulfat berkurang dari volume yang seharusnya maka kapasitas baterai tidak akan maksimal karena proses kimia yang terjadi tidak dalam keadaan optimal sehingga tenaga/kapasitas yang bisa diberikan akan berkurang, yang sebelumnya bisa menyuplai misal 7 ampere dalam satu jam menjadi kurang dari 7 ampere dalam satu jam, yang sebelumnya bisa memberikan pasokan tenaga sampai misal 1 jam kini kurang dari 1 jam, isi/tenaga baterai sudah habis.

4. Penyulfatan

Baterai, digunakan ataupun tidak, akan mengeluarkan isinya (maksudnya tenaga baterai keluar/berkurang bukan cairan elektrolit). Bila sedang tidak digunakan maka pengeluaran tersebut terjadi secara perlahan yang biasa disebut pengeluaran isi sendiri (*self discharge*). Cepat atau lambatnya pengeluaran dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah suhu elektrolit. Sebuah baterai tak terpakai yang berisi penuh akan habis isinya dalam jangka waktu 3 bulan jika elektrolit memiliki suhu 40 derajat Celcius, sedangkan makin dingin suhunya maka makin lambat isi berkurang, contoh, elektrolit yang bersuhu 20 derajat Celcius isinya hanya akan hilang setengah bagian (50%) dalam 3 bulan, dan yang bersuhu 15 derajat Celcius

isinya hanya akan berkurang sebesar 7-8% dalam 3 bulan. Baterai yang sedang mengeluarkan isinya sendiri secara perlahan akan menyulfat. Maksud penyulfatan adalah sulfat timah ($PbSO_4$) yang terbentuk selama pengeluaran membuat bahan aktif menjadi keras dan mati.

Penyulfatan kadang-kadang bisa dihilangkan dengan pengisian lambat (*slow charge*) sehingga bagian-bagian dari timah sulfat ($PbSO_4$) mencapai harga yang normal. Penyulfatan yang sudah terlalu banyak pada satu baterai tidak mungkin dihilangkan, baterai ini harus diganti. Penggantian cairan elektrolit (biasa dikenal dengan pengurasan) tidak akan membantu atau tidak akan banyak membantu karena yang sudah rusak disini adalah pelat-pelatnya, walaupun berhasil memiliki kapasitas setelah dikuras, dalam waktu yang sangat singkat (tergantung pada tingkat kerusakan pelat-pelatnya) baterai akan lemah (*drop*) kembali.⁴

5. Mengatasi Penyulfatan

Cara mengatasi penyulfatan adalah :

- i. Baterai yang tak terpakai disimpan pada ruangan yang bersuhu rendah (suhu yang lebih dingin).
- ii. Baterai yang tak terpakai diisi dengan arus pengisian yang sangat rendah yaitu dengan pengisian perawatan (*maintenance charge*) sampai penuh, atau, baterai diisi secara teratur tiap bulan.

Pada nomor 2, metode yang paling baik adalah dengan pengisian perawatan (*maintenance charge*), artinya kita harus memiliki alat pengisi

⁴ <http://www.kerendahan.com/2009/01/penyulfatan-aki.html>

(*charger*) (lebih baik lagi kalau kuat arus dari alat tersebut bisa diatur kuat lemahnya) yang secara otomatis menghentikan proses pengisian jika baterai sudah terisi penuh dan kembali menghidupkan proses pengisian jika isi baterai mulai berkurang (memiliki fitur deteksi). Jika tidak ada fitur otomatisasi maka terpaksa yang dilakukan adalah mengisi baterai secara penuh menggunakan pengisian lambat (*slow charge*) tiap bulan. Terpaksa disini disebabkan karena baterai yang sudah terisi penuh tidak akan bertambah lagi isinya walaupun tetap terus diisi, selain itu baterai yang terisi penuh akan kian bertambah panas bila terus diisi/disetrum (*overcharging*) sehingga beresiko merusaknya, ditambah lagi dengan terjadinya penguapan gas, dan terutama bahaya kemungkinan meledak yang pada akhirnya merusak baterai secara total (sama sekali tidak bisa dipergunakan) dan bahkan berbahaya bagi orang yang ada disekelilingnya jika cairan asam dari baterai bertebaran /muncrat dan mengenai orang tersebut. Cairan asam bisa mengorosi/merusak plat besi, apalagi daging manusia. Termasuk juga cairan accu zur (cairan yang disikan pada baterai baru yaitu saat pertama kali diisi) cukup korosif. Jadi berhati-hatilah jika berhubungan dengan cairan accu zur terlebih lagi cairan yang telah ada dalam baterai.⁵

6. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah jumlah ampere jam ($Ah = \text{kuat arus (Ampere)} \times \text{waktu (hour)}$), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh

tegangan/voltase turun (*drop voltage*) yaitu sebesar 1,75 V (ingat, tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Misal, baterai 12 V 75 Ah. Baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 Ampere dalam satu jam artinya memberikan daya rata-rata sebesar 900 Watt ($\text{Watt} = V \times I = \text{Voltase} \times \text{Ampere} = 12 \text{ V} \times 75 \text{ A}$). Secara hitungan kasar dapat menyuplai alat berdaya 900 Watt selama satu jam atau alat berdaya 90 Watt selama 10 jam, walaupun pada kenyataannya tidak seperti itu (dijelaskan di bawah ini).

Kembali ke kapasitas baterai, pada kendaraan bermotor kapasitas ini bisa dianalogikan sebagai volume maksimal tangki bahan bakar namun yang membuat berbeda adalah kapasitas pada baterai bisa berubah-ubah dari nilai patokannya, jadi mirip tangki bahan bakar mobil yang bahannya terbuat dari karet. Sebagai ilustrasi adalah contoh balon karet, isinya bisa besar jika terus dimasukkan udara atau bisa juga kecil jika udara yang ditiup sedikit saja. Nah, kapasitas baterai juga tidak tetap, mirip contoh balon karet tadi, dimana ada tiga faktor yang menentukan besar kecilnya kapasitas baterai yaitu :

a. Jumlah bahan aktif

Makin besar ukuran pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya; makin banyak pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya. Jadi untuk mendapatkan kapasitas yang besar luas pelat dan banyaknya pelat haruslah ditingkatkan, dengan catatan bahwa pelat haruslah terendam oleh cairan elektrolit. Dari

padahal kalau berdasarkan hitungan kasar seharusnya bisa bertahan selama 2 jam (500 Watt.hour / 250 Watt).

Contoh nyata, sebuah aki kering 12 V dan 18 Ah mencantumkan nilai spesifikasi sebagai berikut : 20hr @ 0,9A = 18A, 5hr @ 3,06A = 15,3A, 1hr @ 10,8A = 10,8A, 1/2hr @ 18A = 9A

Jika dilihat dari spesifikasi maka aki ini memiliki kapasitas efektif sebesar 18 Ah namun suplai dari aki sebenarnya hanya bisa dilakukan selama :

- 20 jam jika kuat arus yang dipakai hanya sebesar 0,9 A untuk tiap jam artinya hanya memakai daya sebesar 10,8 Watt/jam (12 V x 0,9 A). Kapasitas = 18 Ah (0,9 A x 20 hour), 5 jam jika kuat arus yang dipakai 3,06 A atau berdaya 36,72 Watt/jam (12 V x 3,06 A). Kapasitas = 15,3 Ah (3,06 A x 5 hour) - 1 jam jika kuat arus yang dipakai 10,8 A atau berdaya 129,6 Watt/jam (12 V x 10,8 A). Kapasitas = 10,8 Ah (10,8 A x 1 hour)
- 1/2 jam jika kuat arus yang dipakai sama dengan kapasitas efektifnya yang 18 Ah atau berdaya 216 Watt/jam (12 V x 18 A). Kapasitas = 9 Ah (18 A x 0,5 hour).

Dari sini sudah bisa disimpulkan bahwa makin rendah arus yang dikeluarkan/dipergunakan maka baterai mampu menyuplai dalam waktu yang lebih panjang artinya kapasitas baterai bisa sama persis dengan kapasitas efektif sebesar 18 Ah bila menggunakan kuat arus seperduapuluh dari kapasitas efektifnya ($\frac{1}{20} \times 18 \text{ A}$) dan sebaliknya semakin besar pemakaian arus makin kecil pula kapasitas baterai yang bahkan bisa cuma mencapai 9 Ah. Jadi untuk mendapatkan kapasitas

digunakan perhitungan berikut ; dapatkan ukuran Ampere, yaitu 25A
(Ampere (I) = Daya / Voltase = P / V. = 300 / 12 = 25) , kapasitas efektif
dari baterai yang dicari adalah 41,67 Ah ($\frac{\text{Ampere}}{60\%} = \frac{25 \times 100}{60}$).⁶

7. Pengisian Baterai/Cas Aki/*Accu Charging*

Pengisian arus dialirkan berlawanan dengan waktu pengeluaran isi yang berarti juga bahwa beban aktif dan elektrolit diubah supaya energi kimia batere mencapai maksimum. Ada tiga metode pengisian baterei :

- a. Pengisian perawatan (*maintenance charging*); digunakan untuk mengimbangi kehilangan isi (*self discharge*), dilakukan dengan arus rendah sebesar $\frac{1}{1000}$ dari kapasitas baterai. Ini biasa dilakukan pada baterai tak terpakai untuk melawan proses penyulfatan. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian perawatan adalah 45 mA (miliAmpere).
- b. Pengisian lambat (*slow charging*); adalah suatu pengisian yang lebih normal. Arus pengisian harus sebesar $\frac{1}{10}$ dari kapasitas baterai. Bila baterai memiliki kapasitas 45 Ah maka besarnya arus pengisian lambat adalah 4,5 A. Waktu pengisian ini bergantung pada kapasitas baterai, keadaan baterai pada permulaan pengisian, dan besarnya arus pengisian. Pengisian harus sampai gasnya mulai menguap dan berat jenis elektrolit tidak bertambah walaupun pengisian terus dilakukan sampai 2 - 3 jam kemudian.

- c. Pengisian cepat (*fast charging*) dilakukan pada arus yang besar yaitu mencapai 60 - 100 A pada waktu yang singkat kira-kira 1 jam dimana baterai akan terisi sebesar tiga per empatnya. Contoh fungsi pengisian cepat adalah memberikan baterai suatu pengisian yang memungkinkannya dapat menstarter motor yang selanjutnya generator memberikan pengisian ke baterai.⁷

8. Hal-Hal Lain Tentang Baterai

Baterai yang terawat dengan baik dapat berfungsi sampai beberapa tahun, sebaliknya jika tak terawat, baterai bisa diganti kurang dari satu tahun. Pemegang baterai yang longgar bisa menyebabkan baterai tak tahan lama, kabel starter yang rusak dapat mengakibatkan hubungan singkat sehingga baterai cepat rusak, dan baterai yang kotor dapat menyebabkan arus hilang terutama pada kondisi cuaca yang lembab.

Gas-gas yang menguap pada waktu pengisian baterai dapat meledak sehingga menggunakan api pada ruangan dimana baterai diisi terlarang keras. Selain itu ruangan baterai harus dilengkapi dengan ventilasi yang baik untuk mencegah timbulnya karat karena adanya gas asam sulfur. Campuran timah pada baterai selalu beracun karena itu diperlukan kebersihan dan kehati-hatian ekstra.

Memeriksa kondisi batere tidak bisa hanya dengan mengukur tinggi tegangan/voltase yang dihasilkan tapi juga harus dengan memberikan beban

pada baterai tersebut. Bila menggunakan baterai lebih dari satu dimana kondisinya secara keseluruhan sudah lemah maka seluruh baterai harus diganti jadi tidak bisa hanya sekedar mengganti baterai yang sudah lemah saja. Karena jika sebagian diganti dan sebagian lain masih menggunakan baterai yang lama maka peralatan listrik akan menggunakan karakteristik dari baterai terlemah yaitu baterai lama yang masih dipakai dan berakibat penggantian baterai yang lebih cepat; dalam jangka panjang biayanya justru lebih tinggi daripada mengganti seluruh baterai sedari awal. Selain itu alat pengisi baterai (*charger*) akan melihat keseluruhan baterai sebagai satu kesatuan baterai sehingga baterai lama ada kemungkinan bisa mengalami *overcharging* dan baterai baru mengalami *undercharging* yang pada akhirnya mengakibatkan kerusakan baterai secara total terlebih lagi hasil dari baterai gabungan tersebut menyebabkan peralatan listrik tidak bekerja/berjalan secara memadai.

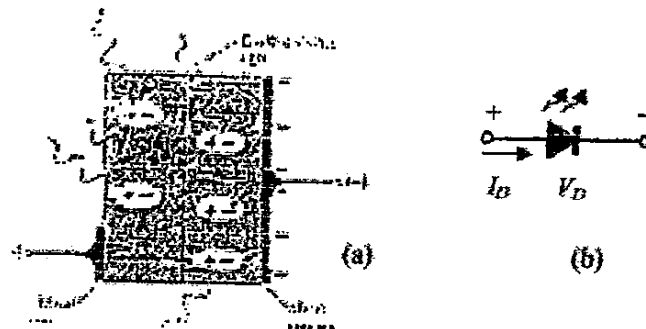
Aki kering maupun basah memiliki prinsip kerja yang sama termasuk pengisian arusnya. Jadi substitusi dimungkinkan terjadi namun perlu diperhatikan karakteristik dari peralatan yang menggunakannya dan sistem yang ada.⁵



Gambar 2.3. Contoh bentuk aki/baterai

B. LED (*Light Emitting Diode*)

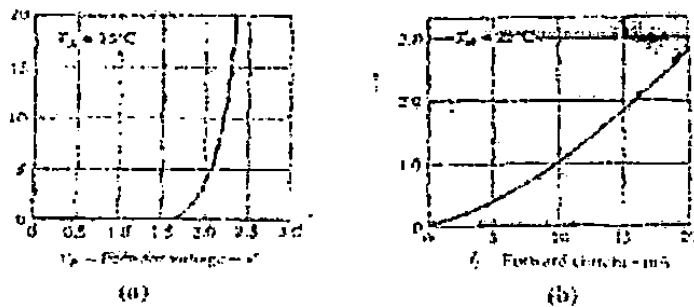
LED adalah sebuah dioda yang memancarkan cahaya yang dapat terlihat jika diberi tegangan. Dalam setiap pemberian bias-maju (*forward bias*) dari hubungan *p-n* terjadi *recombination* dari *hole* dan elektron pada struktur atomnya. *Recombination* memerlukan energi pelepasan oleh ikatan lepas elektron. Pada semua hubungan semikonduktor *p-n* beberapa dari energi ini akan memberikan panas dan beberapa dalam bentuk *photon*. Untuk silikon dan germanium prosentase terbesar adalah dalam bentuk panas, sedang untuk bahan yang lain seperti *gallium arsenide phosphide* (GaAsP) atau *gallium phosphide* (GaP), jumlah *photon* dari emisi energi cahaya cukup besar untuk menghasilkan sumber cahaya yang terlihat. Proses pembentukan cahaya dengan pemberian sebuah sumber listrik disebut *electroluminescence*.⁹ LED dan proses *electroluminescence* (elektroluminan) ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah.



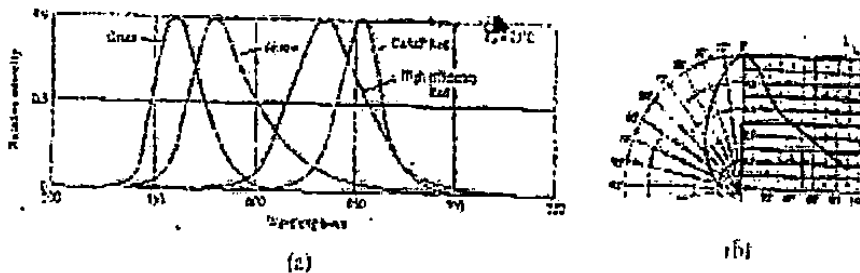
Gambar 2.4. (a). Proses elektroluminan. (b) Simbol LED
(Boylestad & Nashelsky, 1994: 39)

⁹ Boylestad R & Nashelsky L. 1994. *Electronics Devices And Circuit Theory* (4th Edition). New Delhi: Prentice-hall of India Private Limited.

Operasi arus maju tipikal dari LED adalah 10 mA dan arus maksimum adalah 20 mA, dan tegangan bias-maju (V_F) sebesar 2,2 V - 3V. Efisiensi relatif didefinisikan sebagai intensitas kecerahan per arus yang diberikan. Karakteristik bias-maju dan karakteristik respon untuk LED ditunjukkan pada Gambar 2.2, dan dari grafik tersebut dapat dinyatakan bahwa dengan merubah-rubah arus maju akan didapat intensitas cahaya dari LED yang berbeda-beda. Intensitas cahaya ini diukur dalam candela (1 candela = $1\text{footcandle}/1\text{ft}^2$).¹⁰ Intensitas relatif dari masing-masing warna LED dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya dan penyebaran sudut pancaran sinar dari LED ditunjukkan pada Gambar 2.5.



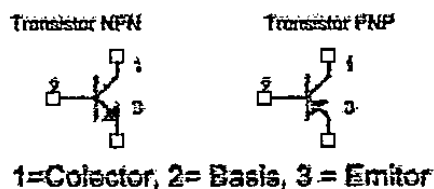
Gambar 2.5. (a). Hubungan arus maju dan tegangan maju untuk LED.
 (b). Hubungan arus maju dan intensitas kecerahan relatif
 (Boylestad & Nashelsky, 1994: 41)



Gambar 2.6. (a). Hubungan relatif intensitas dan panjang gelombang
 (b). Hubungan relatif intensitas kecerahan dengan sudut
 pengarahannya. (Boylestad & Nashelsky, 1994: 41)

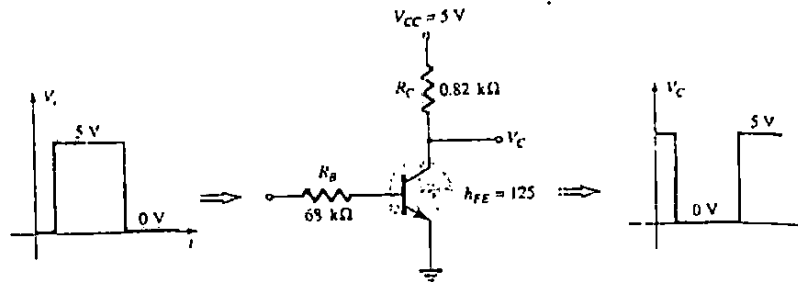
C. Transistor sebagai saklar

Transistor adalah komponen semi konduktor elektronika yang dapat difungsikan sebagai penguat arus DC, penguat tegangan DC, penguat sinyal AC, saklar elektronik, penggerak *relay*, penggerak LED dan lain-lain. Transistor adalah komponen yang sangat populer. Transistor terdiri dari tiga kaki yaitu basis, *colector* dan emitor. Secara umum prinsip kerja transistor secara sederhana adalah jika basis mendapat arus beberapa μA - mA maka akan terjadi aliran arus yang lebih besar mA - A dari *colector* ke emitor. Kejadian ini dimanfaatkan untuk mendisain rangkaian yang menggunakan transistor. Pada sistem ini, transistor difungsikan sebagai saklar.



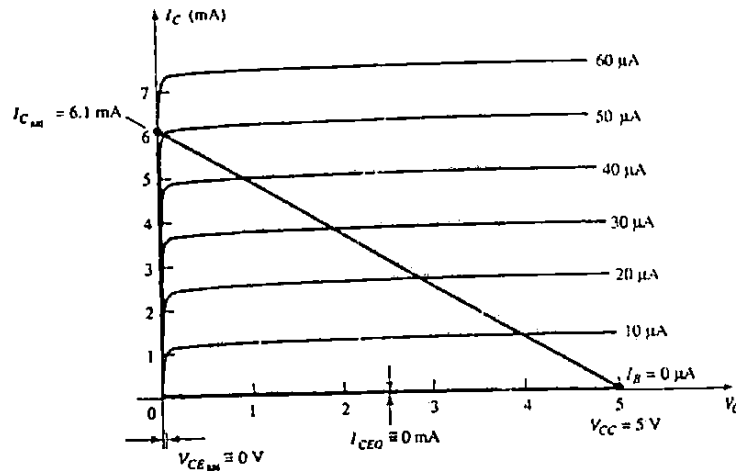
Gambar 2.7. Simbol transistor

Aplikasi dari transistor tidak hanya terbatas hanya sebagai penguat sinyal. Melalui desain dan konfigurasi khusus transistor dapat digunakan sebagai penyaklaran untuk aplikasi pengontrolan dan pengendalian. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah ini. Transistor dapat digunakan sebagai *inverter* atau pembalik pada rangkaian logika dimana keluaran tegangan V_C adalah kebalikan dari tegangan *input* yang diumpankan ke basis (*base*) dari transistor. Pada konfigurasi ini tidak ada tegangan DC bias pada basis, hanya tegangan sumber



Gambar 2.8. Transistor inverter (Boylestad & Nashelsky, 1994: 176)

Desain konfigurasi untuk proses pembalikan memerlukan pergantian titik operasi transistor dari daerah mati (*cut-off*) ke daerah jenuh (*saturasi*) pada kurva garis beban transistor. Kurva karakteristik transistor dapat ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Kurva karakteristik transistor (Boylestad & Nashelsky, 1994: 176)

Untuk perancangan, pada saat $I_B = 0\mu A$, diasumsikan $I_C = I_{CEO} = 0mA$ dan $V_{CE} = V_{CE(SAT)} = 0V$. Saat $V_i = 5V$, transistor akan ON dan desain harus menjamin saturasi harus benar-benar terjadi dengan membuat I_B lebih besar dari I_{B} pada kurva untuk level saturasi ($50\mu A$). Level saturasi pada arus collector ditentukan oleh rumus;

$$I_{CSAT} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (\text{Boylestad \& Nashelsky, 1994: 721}) \dots\dots\dots(1)$$

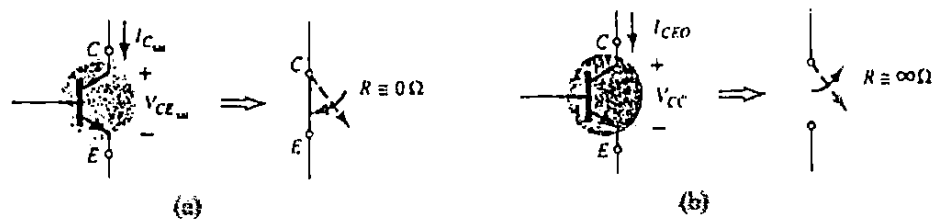
Level dari I_B pada daerah aktif saat mencapai saturasi dapat didekati dengan rumus:

$$I_{BMAX} \cong \frac{I_{CSAT}}{\beta_{DC}} \quad (\text{Boylestad \& Nashelsky, 1994: 721}) \dots\dots\dots(2)$$

Untuk level saturasi harus dijamin bahwa kondisi I_B harus benar-benar di atas I_{BMAX} atau biasanya $I_B = 2.I_{BMAX}$.

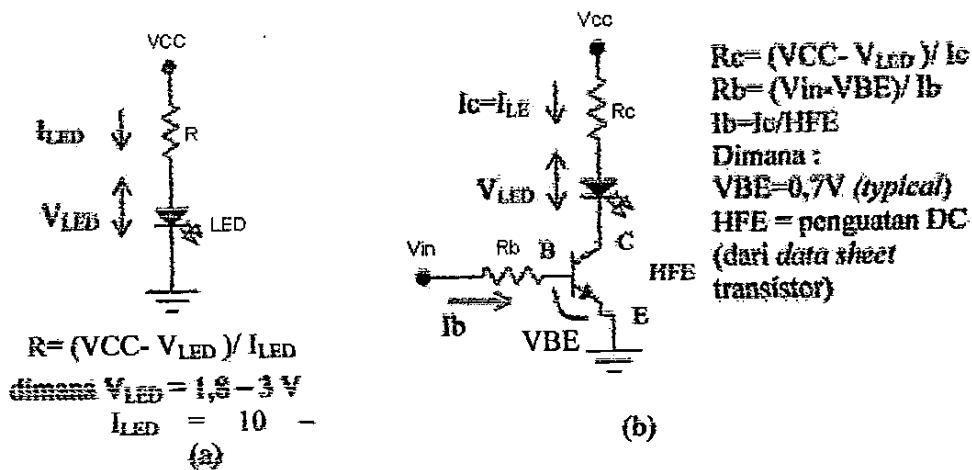
Langkah-langkah dalam mendisain transistor sebagai saklar adalah pertama ditentukan $I_{C MAX}$ dulu sesuai kebutuhan arus beban dan kemudian digunakan untuk menentukan besarnya R_C . Selanjutnya mencari penguatan DC atau β_{DC} atau $H_{FE DC}$ dari transistor (biasanya diperoleh dari *datasheet* atau pengukuran menggunakan alat ukur H_{FE}), kemudian mencari I_B untuk menentukan R_B sesuai dengan tegangan *input* V_i untuk rangkaian tersebut.

$$R_B = \frac{V_i - V_{BE}}{I_B} \quad (\text{Boylestad \& Nashelsky, 1994: 722}) \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 2.10. (a). Transistor saat saturasi dan nilai resistansi *collector emitter*.
 (b). Transistor saat *cut-off* dan nilai resistansi *collector emitter*.
 (Boylestad & Nashelsky, 1994: 177-178)

Dalam membuat rangkaian saklar maka diperlukan beberapa besaran-besaran listrik atau *datasheet* dari LED. Operasi arus maju tipikal dari LED adalah 10 mA dan arus maksimum adalah 30 mA, dan tegangan bias- maju (V_F) sebesar 1,8 V - 3V. Rangkaian untuk menggerakkan LED seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Saklar LED (William, 1993; 12-14)

Dasar dari rangkaian saklar *LED* adalah ditunjukkan seperti pada Gambar 2.11.a. Jika *LED* diberi arus maju (*forward*) dari sumber tegangan V_{CC} di atas 1,8V maka *LED* akan menyala. *LED* membutuhkan arus sebesar 10mA-30mA. Fungsi dari R adalah untuk membatasi arus yang melalui *LED* dengan perhitungan seperti di atas.

Saklar *LED* dengan menggunakan transistor sebenarnya merupakan saklar *LED* terkemudi V_{IN} yang biasanya dihubungkan dengan keluaran komponen digital. Pada *driver LED* dengan transistor seperti gambar di atas, *LED* akan menyala jika V_{IN} pada kondisi logika *HIGH* atau V_{IN} mendekati V_{CC} , dan *LED* akan padam jika V_{IN} pada kondisi logika *LOW* atau V_{IN} mendekati 0 volt. Fungsi dari R_C adalah untuk membatasi arus maju untuk *LED* sedangkan fungsi R_B adalah untuk membatasi arus bias pada basis transistor. Saklar *LED* yang dipakai berupa transistor *arry* dikemas dalam kemasan IC yaitu ULN2003.

D. Mikrokontroler AT89S51

Mikrokontroler merupakan hasil perkembangan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer yang mampu menangani berbagai macam program aplikasi. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler hanya bisa digunakan untuk satu aplikasi saja dalam artian hanya satu program saja yang bisa disimpan dalam satu saat.

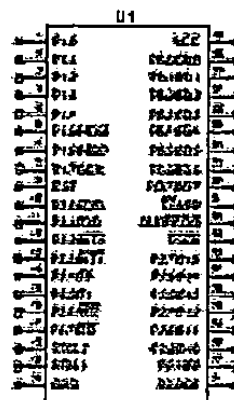
1. Konfigurasi Pin dan Blok Diagram AT89S51

Mikrocontroler adalah suatu komponen cerdas. Komponen ini dapat diperintah atau difungsikan dengan sangat kompleks atau dapat menangani

berbagai tugas dengan desain rangkaian yang sederhana. Tugas utamanya fungsi

yang diinginkan dibuat dalam *routine* perintah sebagai suatu program (*software*) selanjutnya dimasukkan ke dalam memorinya untuk dijalankan berulang-ulang. Berikut ini adalah konfigurasi pada pin kemasan *40 pin* PDIP (*Plastic Dual Inline Package*).

Mikrokontroler AT89S51 termasuk dalam keluarga MCS51 yang mempunyai 40 kaki, 32 kaki di antaranya adalah kaki untuk keperluan paralel. Satu *port* paralel terdiri dari 8 kaki, dengan demikian 32 kaki tersebut membentuk 4 buah *port* paralel, yang masing-masing dikenal sebagai *Port 0*, *Port 1*, *Port 2*, *Port 3*. Nomor dari masing-masing jalur (kaki) dari *Port* paralel mulai dari 0 sampai 7. Jalur pertama *Port 0* disebut sebagai P0.0 dan jalur terakhir untuk *Port 3* adalah P3.7.



Gambar 2.12. Kaki Fungsional IC Mikrokontroler AT89S51
(Atmel, 1997: data sheet AT89S51)

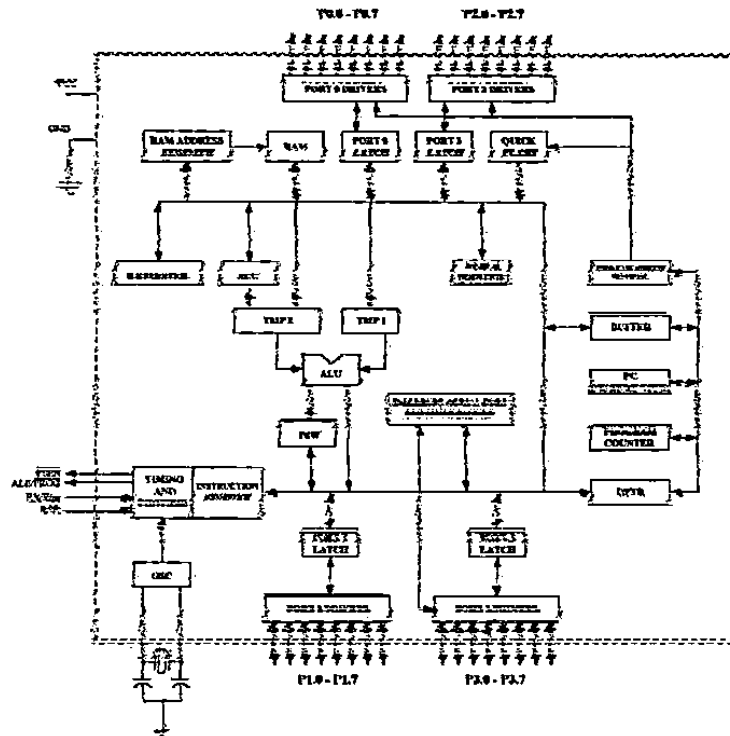
Fungsi-fungsi dari setiap *pin* tersebut adalah :

- 1). *Port 0*, *1*, *2*, *3* merupakan jalur keluar-masuknya data yang tiap *port*-nya terdiri dari 8 *pin*.
- 2). *VCC* merupakan pin tegangan input yang besarnya 5 volt DC

- 3). GND adalah *ground* atau pentanahan
- 4). RST adalah masukan *reset*, kondisi '1' selama 2 siklus mesin selama *osilator* bekerja akan me-*reset* mikrokontroler yang bersangkutan.
- 5). ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, keluaran ALE (*address latch enable*) menghasilkan pulsa-pulsa untuk mengancing *byte* rendah alamat selama mengakses memori eksternal. Kaki ini juga berfungsi untuk masukan pulsa program (*the program pulse input*) atau PROG selama pemrograman *flash*.
- 6). $\overline{\text{PSEN}}$ (*Program Store Enable*) merupakan sinyal baca untuk memori program eksternal. $\overline{\text{PSEN}}$ akan diaktifkan dua kali per siklus mesin, kecuali dua aktivasi $\overline{\text{PSEN}}$ dilompati (*diabaikan*) saat mengakses memori data eksternal.
- 7). $\overline{\text{EA}}/\text{Vpp}$ (*external Access Enable*), kaki ini dihubungkan ke *ground* jika mikrokontroler mengeksekusi program dari memori eksternal lokasi 0000h hingga FFFFh. Kaki ini juga dihubungkan ke VCC jika mengakses program secara *internal*. *Pin* ini juga berfungsi menerima tegangan 12 volt selama pemrograman *flash*.
- 8). XTAL1 dan XTAL2 merupakan masukan *osilator* sebagai sumber data (*clock*) ke CPU.¹¹

Mikrokontroler AT89S51 merupakan mikrokomputer CMOS 8 bit dengan 4 Kbytes *Flash Programmable*. Gambar 2.13 memperlihatkan arsitektur AT89S51.

¹¹ Atmel, 1997, data sheet AT89S51



Gambar 2.13. Blok diagram AT89S51

Mikrokontroler AT89S51 terdiri dari beberapa bagian yaitu :

- 1). *Accumulator (ACC)* merupakan register akumulator yang berfungsi sebagai penyimpan data sementara. Pada program ditulis dengan A.
- 2). *ALU (Arithmetic and Logic Unit)* berfungsi untuk menangani operasi aritmatika dan operasi logika.
- 3). *RAM (Random Access memory)* sebagai tempat penyimpanan data atau

8 Byte

FF								FF
FE	*							FE
ED	ACC							ED
EC								EC
DB	PSW							DB
CA	(TCON)	(TMOD)	(RCAP1L)	(RCAP2H)	(TL2)	(TH2)		CA
C9								C9
C8								C8
B7	P1							B7
B6	P2							B6
B5	P3							B5
B4	P4							B4
B3	SP							B3
B2	SP							B2
B1	PI							B1
B0	ICON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1		B0
AF	GP	GP	GP	GP				AF
AE								AE
AD								AD
AC								AC
AB								AB
AA								AA
A9								A9
A8								A8
A7								A7
A6								A6
A5								A5
A4								A4
A3								A3
A2								A2
A1								A1
A0								A0

Gambar 2.14. Pemetaan *Special Function Registers*

Fungsi dari masing-masing *register* dijelaskan pada bagian berikut :

- a). *Register B* digunakan pada operasi perkalian dan pembagian. Pada instruksi-instruksi yang lain berfungsi seperti *register* umumnya.
- b). *Program Status Word (PSW)* berisi informasi status program.
- c). *Stack Pointer (SP)* terdiri dari 8 bit. Alamat SP ditambah/dinaikkan sebelum data disimpan pada eksekusi instruksi PUSH dan CALL. SP dapat diletakkan pada alamat manapun di *on-chip* RAM, SP diinisialisasi pada alamat 07H setelah *reset*. Hal ini mengakibatkan *stack* dimulai pada lokasi 08H.
- d). *Data Pointer (DPTR)* terdiri dari *high byte (DPH)* dan *low byte (DPL)*. Fungsi utamanya adalah sebagai tempat alamat 16 bit. *Register* ini bisa juga dimanfaatkan sebagai sebuah *register* 16 bit atau 2 buah *register* 8

- e). *Register Control*, SFR IP, IE, TMOD, TCON, T2CON, SCON, dan PCON berisi *bit* kontrol dan status untuk *system interrupt*, *timer/counter*, dan *port serial*.
- 4). *Port Bidirectional (Port 0 - Port 3)*, yang masing-masing terdiri dari 8 *bit*. Setiap *port* terdiri dari sebuah *latch*. P1, P2, dan P3 adalah SFR *latch* dari *Port 0, 1, 2, dan 3*.
- 5). *Timer*, yang terdiri dari pasangan register (TH0 & TL0), (TH1 & TL1), serta (TH2 & TL2) adalah *register 16 bit* untuk proses perhitungan *Time /Counter 0, 1, dan 2*.
- 6). Osilator sebagai sumber detak (*clock*) ke CPU.¹²

2. Instruksi

Instruksi adalah bahasa program yang digunakan pada mikrokontroler, dan pada mikrokontroler MCS51 menggunakan bahasa *Assembly*.

3. Mode Pengalamatan

Mode pengalamatan digunakan untuk mengakses data/*operand* yang ada pada memori, antara lain :

- 1). *Mode Pengalamatan Segera*, cara ini menggunakan konstanta. Data konstan merupakan data yang menyatu dengan instruksi.
- 2). *Mode Pengalamatan Langsung*, cara ini dipakai untuk menunjukkan data yang berada pada suatu lokasi memori dengan cara menyebutkan lokasi memori tempat data tersebut berada.

¹² Atmel, 1997: *data sheet AT89S51*

- 2) Perintah SUBB digunakan untuk mengurangi isi *Accumulator* A dengan bilangan 1 *byte* berikut dengan nilai *bit Carry*, hasil pengurangan akan ditampung kembali pada *Accumulator*.
- 3) Perintah DA (*Decimal Adjust*) dipakai setelah perintah ADD; ADDC atau SUBB, dipakai untuk merubah nilai biner 8 *bit* yang tersimpan pada *Accumulator* menjadi 2 buah bilangan desimal yang masing-masing terdiri dari nilai biner 4 *bit*.
- 4) Perintah MUL AB untuk mengalikan bilangan biner 8 *bit* pada *Accumulator* A dengan bilangan biner 8 *bit* pada *register* B. Hasil perkalian berupa bilangan biner 16 *bit*, 8 *bit* bilangan biner yang bobotnya lebih besar ditampung di *register* B, sedangkan 8 *bit* lainnya yang bobotnya lebih kecil ditampung di *Accumulator* A.
- 5) Perintah DIV AB untuk membagi bilangan biner 8 *bit* pada *Accumulator* A dengan bilangan biner 8 *bit* pada *register* B. Hasil pembagian berupa bilangan biner 8 *bit* ditampung di *Accumulator*, sedangkan sisa pembagian berupa bilangan biner 8 *bit* ditampung di *register* B.

5. Kelompok Logika

Kelompok perintah ini dipakai untuk melakukan operasi logika mikrokontroler MCS51, operasi logika yang bisa dilakukan adalah operasi *AND* (kode operasi ANL), operasi *OR* (kode operasi ORL) dan operasi *Exclusive-OR* (kode operasi XRL). Data yang dipakai pada operasi ini bisa berupa data yang berada pada *Accumulator* atau data yang berada pada

memori data, hasil operasi ditampung di sumber data yang pertama. Fungsi dari masing-masing operasi tersebut adalah :

- 1). Operasi Logika AND, banyak dipakai untuk membuat nol pada beberapa *bit* tertentu dari sebuah bilangan *biner 8 bit*, caranya dengan membentuk sebuah bilangan *biner 8 bit* sebagai data konstan yang di-AND-kan bilangan asal. *Bit* yang akan dibuat nol diwakili dengan '0' pada data konstan, sedangkan *bit* lainnya diberi nilai '1'.
- 2). Operasi Logika OR, banyak dipakai untuk membuat '1' pada beberapa *bit* tertentu dari sebuah bilangan *biner 8 bit*, caranya dengan membentuk sebuah bilangan *biner 8 bit* sebagai data konstan yang di-OR-kan bilangan asal. *Bit* yang akan dibuat '1' diwakili dengan '1' pada data konstan, sedangkan *bit* lainnya diberi nilai '0'.
- 3). Operasi Logika *Exclusive-OR*, banyak dipakai untuk membalik nilai (*complement*) beberapa *bit* tertentu dari sebuah bilangan *biner 8 bit*, caranya dengan membentuk sebuah bilangan *biner 8 bit* sebagai data konstan yang di-XOR-kan bilangan asal. *Bit* yang ingin dibalik nilai diwakili dengan '1' pada data konstan, sedangkan *bit* lainnya diberi nilai '0'.

6. Kelompok Instruksi *Jump*

Mikrokontroler MCS51 mempunyai 3 macam intruksi *JUMP*, yakni instruksi LJMP (*Long Jump*), instruksi AJMP (*Absolute Jump*) dan instruksi SJMP (*Short Jump*). Kerja dari ketiga instruksi ini persis sama, yakni memberi nilai baru pada *Program Counter* kapanpun melaksanakan ketiga instruksi ini

juga persis sama, yakni memerlukan waktu 2 periode instruksi (jika MCS51 bekerja pada frekuensi 12 MHz, maka instruksi ini dijalankan dalam waktu 2 mikro-detik), yang berbeda dalam jumlah *byte* pembentuk instruksinya, instruksi *LJMP* dibentuk dengan 3 *byte*, sedangkan instruksi *AJMP* dan *SJMP* cukup 2 *byte*.

7. Kelompok Instruksi untuk Sub Rutin

Program sub rutin dipanggil dengan instruksi *ACALL* atau *LCALL*, dan cara membentuk sub rutin adalah memberi instruksi *RET* pada akhir potongan program sub rutin. Saat menerima instruksi *RET*, nilai asal *Program Counter* sebelum mengerjakan sub rutin yang disimpan di dalam *Stack*, dikembalikan ke *Program Counter* sehingga mikrokontroler bisa meneruskan pekerjaan di alur program utama.

8. Kelompok Instruksi *Jump* Bersyarat

Instruksi *Jump* bersyarat merupakan instruksi inti bagi mikrokontroler. Instruksi *JZ* (*Jump if Zero*) dan instruksi *JNZ* (*Jump if not Zero*) adalah instruksi *JUMP* bersyarat yang memantau nilai *Accumulator A*.

1). Instruksi *JC* (*Jump on Carry*) dan instruksi *JNC* (*Jump on no Carry*) adalah instruksi *jump* bersyarat yang memantau nilai *bit Carry* di dalam *Program Status Word (PSW)*.

2). Instruksi *JB* (*Jump on Bit Set*), instruksi *JNB* (*Jump on not Bit Set*) dan instruksi *JBC* (*Jump on Bit Set Then Clear Bit*) merupakan instruksi *Jump* bersyarat yang memantau nilai-nilai *bit* tertentu. *Bit-bit* tertentu bisa

merupakan *bit-bit* dalam register status maupun kaki *input* mikrokontroler MCS51.

9. Kelompok Instruksi Proses dan Test

Instruksi *DJNZ* dan instruksi *CJNE* adalah dua instruksi yang melakukan suatu proses dulu baru kemudian memantau hasil proses untuk menentukan apakah harus *Jump*. Fungsi dari masing-masing kelompok intruksi tersebut adalah sebagai berikut :

- 2). Instruksi *DJNZ* (*Decrement and Jump if not Zero*), merupakan instruksi yang akan mengurangi 1 nilai *register* serbaguna (R0..R7) atau memori-data, dan *Jump* jika ternyata setelah pengurangan 1 tersebut hasilnya tidak nol.
- 3). Instruksi *CJNE* (*Compare and Jump if Not Equal*) membandingkan dua nilai yang disebut dan MCS akan *Jump* kalau kedua nilai tersebut tidak sama.¹⁵

10. Perangkat Lunak

Program sumber *Assembly*, merupakan program yang ditulis oleh pembuat program berupa kumpulan baris-baris perintah dan biasanya disimpan dengan *ekstension* .ASM. Program ini ditulis menggunakan perangkat lunak, perangkat lunak *teks editor* seperti *Notepad* atau *Editor* DOS.

Gambar 2.12 memperlihatkan bentuk program sumber *Assembly*.

kode operasi yang dikerjakan oleh program *Assembler* yang ada pada komputer atau *Assembler Directive* sangat bergantung pada program *Assembler* yang digunakan. Contoh *ORG*, *EQU*, *DB*, dan lain-lain.

3). *Operand*

Merupakan pelengkap dari *Mnemonic*. Jumlah *operand* yang dibutuhkan oleh sebuah *Mnemonic* tidak selalu sama. Sebuah *Mnemonic* dapat memiliki tiga, dua, satu atau bahkan tidak memiliki *operand*.

4). *Komentar*

Bagian komentar tidak mutlak ada dalam sebuah program, namun bagian ini seringkali dibutuhkan untuk menjelaskan proses-proses kerja ataupun catatan-catatan tertentu pada bagian-bagian program. Pembuat program sekalipun seringkali membutuhkan, untuk mengingat kembali jalannya program rancangannya. Penggunaan komentar biasanya diawali dengan “ ; ” dan dapat diletakan di bagian manapun dari program. Sebuah komentar tidak hanya digunakan untuk menjelaskan satu baris perintah saja, namun dapat juga digunakan untuk menjelaskan kinerja dari beberapa baris perintah atau memberikan catatan-catatan tertentu.

Program Obyek, merupakan hasil utama dari sebuah proses *Assembly* berupa kode-kode yang hanya dikenali oleh mikroprosesor/mikrokontroler. Program obyek dapat berupa kode heksa (*.HEX) ataupun biner (*.BIN). Program ini merupakan obyek yang harus diisikan ke memori dari sistem mikrokontroler setelah proses *Assembly*.

Assembly Listing, merupakan hasil dari proses *assembly* dalam rupa campuran dari program obyek, program sumber *Assembly* dan alamat-alamatnya. *Assembly listing* tersimpan dalam *file* dengan ekstensi LST.

Program Assembler, merupakan perangkat lunak yang dibutuhkan untuk melakukan proses *Assembly* yang mengubah program sumber *Assembly* menjadi program obyek maupun *Assembly listing*.

Program Downloader, merupakan perangkat lunak yang dibutuhkan untuk men-*download* program obyek ke dalam target memori. Program ini biasanya digunakan pada sistem mikrokontroler berupa *Development System*. Program *Downloader* harus berkomunikasi dengan program monitor yang ada pada *system* untuk melakukan proses *download* ke dalam memori eksternal berupa ROM atau EEPROM.

11. Perangkat Keras

Selain *software* di atas diperlukan juga rangkaian *downloader* yang berfungsi melakukan salinan program dalam bentuk akhir data biner ke dalam EEPROM. Perangkat keras ini terdiri dari beberapa IC multiplekser, pewaktuan/*clocking* dan catu daya 5V dan 12V. Tegangan 12V dipakai untuk proses penulisan pada memori EEPROM sedangkan tegangan 5V dipakai untuk catu daya mikrokontroler dan komponen yang lain dari rangkaian *downloader*. *Clocking* dipakai untuk pulsa siklus perintah saat pengisian berialan, sedang IC multiplekser dipakai sebagai penerima alamat data-data

Tata cara melakukan proses *downloading* adalah

- 2). Menulis program yang hendak di-*download* melalui program editor TVDEMO dan simpan dengan ekstensi H51.
- 3). Menghubungkan komputer dengan perangkat keras *downloader* dan menghidupkan catu dayanya serta memasang IC mikrokontroler yang hendak di-*download* program yang dibuat.
- 4). Melalui program/software *downloader* "BERIN" dilakukan konversi program dari ekstensi H51 tersebut menjadi ekstensi OBJ kemudian dikonversi ke ekstensi HEX dan terakhir ke ekstensi BIN.
- 5). Melakukan proses *downloading*
- 6). Mikrokontroler telah terisi program yang dibuat.

E. ERGONOMI

Ergonomi adalah suatu kajian yang membahas tentang hubungan antara manusia dengan pekerjaan yang dilakukannya melalui suatu aturan kerja tertentu (*Ergos* = pekerjaan dan *Nomos* = aturan). Dalam interaksi tersebut seringkali melibatkan suatu alat yang dirancang atau didesain khusus untuk membantu manusia agar menjadi lebih mudah. Dengan desain yang tepat, pekerjaan akan terasa lebih ringan dan cepat.¹⁴

Ada beberapa definisi menyatakan bahwa ergonomi ditujukan untuk "fitting the job to the worker", sementara itu ILO antara lain menyatakan, sebagai ilmu terapan biologi manusia dan hubungannya dengan ilmu teknik

¹⁴ <http://www.mindustry.com/journal/item/1>

bagi pekerja dan lingkungan kerjanya, agar mendapatkan kepuasan kerja yang maksimal selain meningkatkan produktivitasnya”.

Ruang lingkup ergonomik sangat luas aspeknya, antara lain meliputi :

- Teknik
- Fisik
- Pengalaman psikis
- Anatomi, utamanya yang berhubungan dengan kekuatan dan gerakan otot dan persendian
- Anthropometri
- Sosiologi
- Fisiologi, terutama berhubungan dengan temperatur tubuh, Oxygen up take, pols, dan aktivitas otot.
- Desain, dll

Aplikasi/penerapan Ergonomik:

1. Posisi Kerja terdiri dari posisi duduk dan posisi berdiri, posisi duduk dimana kaki tidak terbebani dengan berat tubuh dan posisi stabil selama bekerja. Sedangkan posisi berdiri dimana posisi tulang belakang vertikal dan berat badan tertumpu secara seimbang pada dua kaki.

2. Proses Kerja

Para pekerja dapat menjangkau peralatan kerja sesuai dengan posisi waktu bekerja dan sesuai dengan ukuran anthropometrinya. Harus dibedakan ukuran anthropometri berat dan tinggi

3. Tata letak tempat kerja

Display harus jelas terlihat pada waktu melakukan aktivitas kerja.

Sedangkan simbol yang berlaku secara internasional lebih banyak digunakan daripada kata-kata.

4. Mengangkat beban

Beragam-macam cara dalam mengangkat beban yakni, dengan kepala, bahu, tangan, punggung dsbnya. Beban yang terlalu berat dapat menimbulkan cedera tulang punggung, jaringan otot dan persendian akibat gerakan yang berlebihan.

a. Menjinjing beban

Beban yang diangkat tidak melebihi aturan yang ditetapkan ILO (*International Labour Organization*) adalah sebagai berikut :

- Laki-laki dewasa (18 – 60) 40 kg
- Wanita dewasa (18 – 60) 20 kg
- Laki-laki (16-18 th) 20 kg
- Wanita (16-18 th) 15 kg.¹⁵