ELEKTRONIKA OTOMOTIF

OLEH :

DRS. ANDRIZAL

JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI PADANG
PADANG 2000

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah swt. Yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya pada penulis untuk menyelesaikan penulisan buku **"Elektronika Otomotif"** ini sampai tuntas.

Buku ini terdiri dari tiga bab, dimana bab satu merupakan pendahuluan, yang memberikan penjelasan tentang keuntungan-keuntungan pemakaian elektronika pada beberapa sistem kelistrikan mobil. Bab dua merupakan uraian tentang konstruksi, fungsi, karakteristik dan pengujian komponen pasif (resistor, kapasitor, transformator dan relay) dan komponen aktif (dioda sambungan, dioda zener, dioda cahaya, transistor dan rangkaian terpadu). Kemudian bab tiga khusus membahas rangkaian elektronika otomotif yang mencakup pengatur tegangan, sistem pengapian, intermitten wiper, pengedip lampu tanda belok dan lampu hazar, sistem penerangan awal, dan pengunci pintu.

Dengan kehadiran buku ini sangat diharapkan dapat membantu para pembaca hendaknya dalam memahami elektronika otomotif secara khusus serta listrik dan elektronika otomotif secara umum.

Penulis menyadari bahwa isi buku ini tidak luput dari segala kekurangan dan kelemahan walaupun telah diusahakan sebaik mungkin. Untuk itu kepada para pembaca, penulis sangat mengharapkan saran dan kritikan yang konstruktif demi penyempurnaan penulisan-penulisan berikutnya.

Kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku ini terutama sekali kepada Bapak Drs. H.Raudi Syukur dan Drs.Syamsuarnis yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyempurnaan penyusunan buku ini.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih, semoga bantuan tersebut menjadi amal soleh disisi Allah swt.

Padang, Februari 2000
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL v

BAB I PENDAHULUAN..... 1

BAB II KOMPONEN ELEKTRONIKA..... 5

A.Komponen Pasif 5
1. Resistor 6
a. Resistor tetap 6
b. Resistor variabel 20
2. Kapasitor 23
a. Kapasitor tetap 27
b. Kapasitor variabel 31
c. Rangkaian kapasitor 33
d. Pengujian kapasitor 34
e. Kerusakan kapasitor 35
3.Transformator 37
4. Relay 42

B. Komponen Aktif 44
1. Pendahuluan 44
a. Muatan elektron bebas pada semikonduktor tipe N 46
b. Free hole pada semikonduktor tipe P 46
c. Arus hole 47
2. Komponen Aktif 48
a. Dioda sambungan (junction diod) 48
b. Zener dioda 51
c. Dioda pemancar cahaya 54
d. Transistor 57
e. Rangkaian terpadu (integrated circuit / IC) 68

BAB III PEMAKAIAN ELEKTRONIKA DALAM BIDANG OTOMOTIF 72

A. Pengatur Tegangan Elektronik Untuk Alternator 72
1. Pada Saat Ignition Switch ON dan Mesin Mati 72
2. Saat Mesin Hidup Pada Putaran Rendah 73
3. Mesin Hidup Pada Putaran Tinggi 74

B. Sistem Pengapian Semi Transistor 75

C. Pengapian Tipe Fully-Transistor 78

D. Pengedip Semi Transistor 79
1. Saat Sakelar Tanda Belok Pada Posisi ON 81
2. Sakelar OFF dengan Satu Lampu Putus 83
3. Sakelar ON dengan Satu Lampu Putus 83

E. Intermitten Wiper 84
Cara Kerja Intermitten Wiper 85

F. Sistem Penerangan Awal 87
1. Saat Pintu Terkunci, Kendaraan Berhenti 87
2. Kunci Pintu Dibuka 88
3. Setelah Kunci Kontak Dibuka 88
4. Kunci Kontak Pada Posisi ON 89

G. Pengunci Pintu 89
1. Cara Kerja Pengunci Pintu Magnetic Lock 89
2. Cara Kerja Pengunci Pintu Auto Lock 91

DAFTAR PUSTAKA 95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Beberapa Jenis Resistor Terapan Umum 8

Tabel 2.2 Daftar Sandi Warna Resistor Karbon 9

Tabel 2.3 Nilai Resistor Seri E24, E12, E6, dan E96 12

Tabel 2.4 Kerusakan Resistor Tetap 19

Tabel 2.5 Penerapan Resistor Variabel 22

Tabel 2.6 Perbandingan Resistor Variabel 22

Tabel 2.7 Klasifikasi Kapasitor 25

Tabel 2.8 Nilai Tipikal Kapasitor 26

Tabel 2.9 Kegagalan pada Kapasitor 36

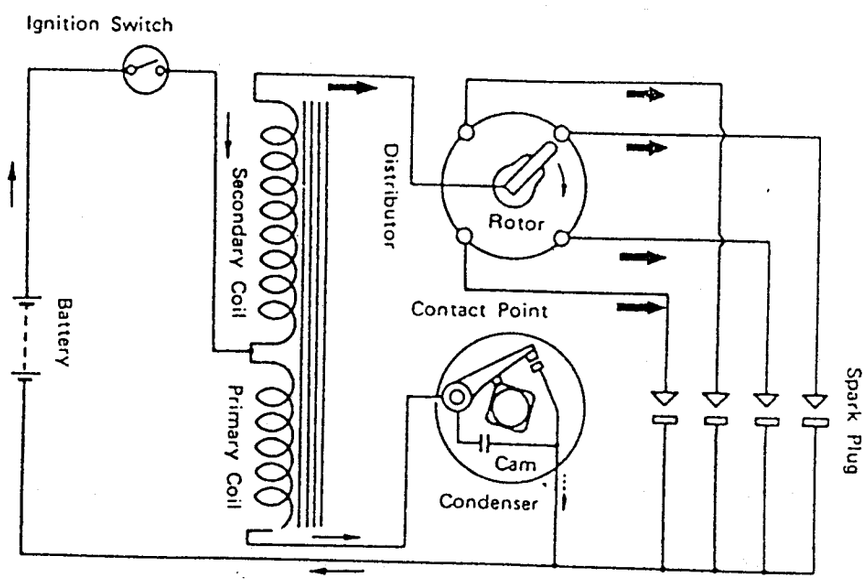
Tabel 2.10 Elemen Doping Bahan Semikonduktor 46

Tabel 2.11 Cara Membandingkan Transistor PNP dengan Transistor NPN 68

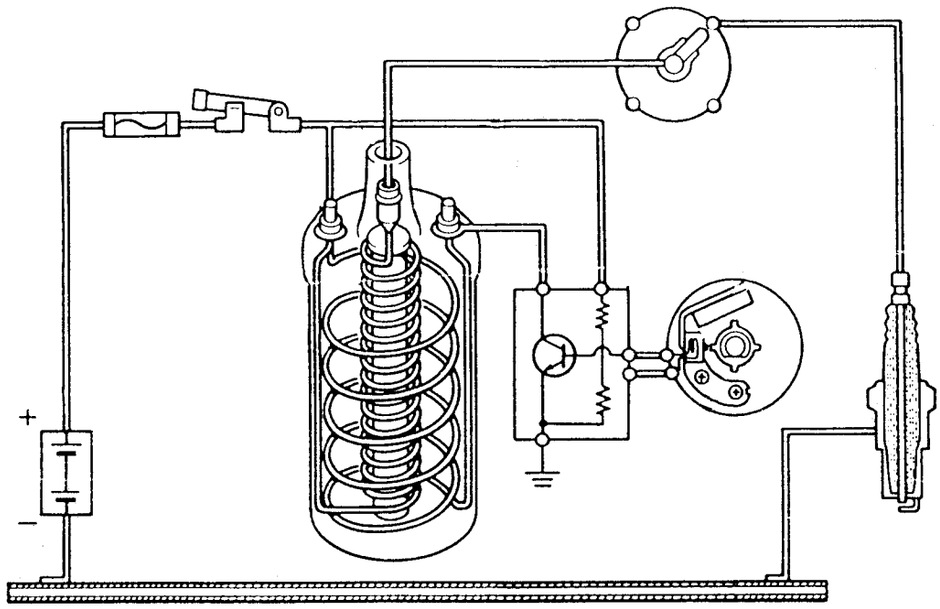
Tabel 3.1 Keadaan ON dan OFF-nya Transistor 91

BAB I
PENDAHULUAN

Teori elektronika dewasa ini berkembang dengan pesat sekali, bahkan akhir-akhir ini sudah banyak peralatan yang menggunakan elektronika. Perkembangan elektronika juga terlihat pada dunia otomotif; seperti pada sistem pengapian, sistem pengisian baterai, sistem bahan bakar, sistem rem, sistem penerangan dan sistem kontrol / instrumen lainnya. Berikut dapat dilihat pada gambar 1.1 dan 1.2, dimana sistem konvensional dimodifikasi menjadi sistem pengapian elektronik (pengapian transistor).



Gambar 1.1 Sistem pengapian konvensional
(Toyota Astra 2, hal.7-1)



Gambar 1.2 Sistem pengapian transistor
(Toyota Astra 3, hal. 6-17)

Pemakaian elektronika dapat memberikan banyak keuntungan, diantaranya dapat dilihat pada sistem pengapian elektronik kendaraan yang dapat menghasilkan loncatan bunga api listrik yang lebih baik pada elektroda busi sehingga pembakaran campuran bahan bakar udara di ruang bakar dapat lebih sempurna. Dengan demikian pemakaian bahan bakar dapat menjadi lebih hemat dan tenaga mesin dapat ditingkatkan serta kandungan racun pada gas buang yang dihasilkan kendaraan dapat dikurangi. Keuntungan lain juga dapat dilihat pada unit pengontrol sistem pengisian baterai (voltage regulator). Dengan menggunakan *pengontrol tegangan elektronik* untuk pengisian baterai, tegangan pengisian dapat dibuat konstan tanpa dipengaruhi oleh putaran mesin dan tanpa perlu melakukan penyetelan pada unit pengontrol, ukuran lebih kecil sehingga tidak banyak memakai tempat, lebih tahan terhadap getaran yang lebih tinggi dan tahan lama sebab unit ini tidak memiliki komponen yang bergerak.

Pemakaian elektronika pada unit pengedip lampu tanda belok atau lampu hazar dapat memberikan frekwensi pengedipan bola lampu yang konstan tanpa terpengaruh oleh adanya bola lampu yang rusak atau putus. Keuntungan ini tidak mungkin diperoleh pada pengedip konvensional. Dengan demikian keamanan kendaraan dan penumpang dalam mengendarai kendaraan (terutama pada saat ditikungan) dapat ditingkatkan.

Berikut dapat dilihat beberapa keuntungan pemakaian elektronika di bidang otomotif :

1. Tidak memerlukan banyak tempat
2. Tidak berisik
3. Relatif lebih ekonomis untuk jangka waktu panjang
4. Tidak memerlukan perawatan rutin
5. Dapat melakukan pengotrolan secara akurat
6. Lebih tahan terhadap getaran/goncangan
7. Dapat melakukan pemutusan dan penghubungan arus listrik dalam waktu yang sangat singkat (switching) pada sistem pengapian

Memang banyak keuntungan yang mungkin diperoleh dengan penerapan elektronika dalam dunia otomotif. Untuk itu adalah merupakan suatu keharusan bagi setiap orang yang berkecimpung dibidang otomotif memiliki pengetahuan tentang elektronika . Mulai dari pengetahuan tentang komponen, rangkaian, pengujian, dan pada akhirnya nanti diharapkan juga dapat melakukan diagnosa kerusakan dan perbaikan.

Pada uraian berikutnya pembaca dapat mempelajari mengenai komponen elektronika mencakup tentang bentuk fisik, fungsi, karakteristik dan pengujian dari komponen-komponen yang banyak digunakan pada elektronika otomotif. Dan terakhir

pada bab tiga disajikan beberapa rangkaian elektronika yang digunakan pada teknologi otomotif saat ini.

Secara umum buku ini lebih menitik beratkan uraiannya pada pengetahuan komponen-komponen elektronika. Karena dengan demikian diharapkan pembaca dapat lebih mudah nantinya untuk mempelajari rangkaian-rangkaian elektronika.

BAB II
KOMPONEN ELEKTRONIKA

Jumlah komponen elektronika yang dapat diperoleh dewasa ini begitu banyaknya sehingga sangat sulit bagi siapapun untuk mempunyai pengetahuan yang mendalam mengenai semua komponen. Agar dapat mengetahui sepenuhnya spesifikasi suatu komponen, paling baik adalah dengan mengacu pada buku-buku data pabrik. Dalam buku-buku tersebut terdapat banyak informasi yang bermanfaat.

Komponen-komponen tersebut dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok besar, yaitu :

1. Bagian-bagian mekanik, yang meliputi: sasis dan siku-siku logam, kawat-kawat, papan rangkaian tercetak, konektor-konektor, steker, dan kontak penghubung.
2. Komponen pasif, yaitu : resistor tetap dan variabel, kapasitor tetap dan variabel, tranformator, induktor-induktor dan lain-lain.
3. Komponen aktif, yaitu : transistor, diode, thyristor, transistor efek medan, rangkaian terpadu, tabung hampa, dan lain-lain.

Adalah merupakan hal yang penting untuk mengetahui komponen-komponen yang pokok dan paling lazim, dan bab ini dimaksudkan untuk menyajikan pengetahuan tentang komponen-komponen tersebut, khususnya peranti pasif dan aktif.

A. Komponen Pasif

Komponen pasif adalah komponen elektronika yang dapat berfungsi tanpa catu daya, misalnya resistor, kapasitor, induktor, transformator, relay dan switch. Suatu resistor dapat berfungsi memberikan hambatan tanpa catu daya, begitu juga dengan kapasitor, transformator dan lainnya.

1. Resistor (R)

Resistor adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai hambatan aliran arus listrik dalam sebuah rangkaian. Besar atau kecilnya hambatan terhadap arus listrik tersebut tergantung pada besar tahanan resistor yang digunakan. Semakin besar tahanan resistor pada rangkaian semakin besar pula hambatan yang dialami arus listrik dalam rangkaian tersebut, sehingga arus listrik yang dapat mengalir menjadi kecil; dan begitu juga sebaliknya.

Resistor dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- **Resistor**
  - **Tetap**
    - **Koposisi karbon**
    - **Lapisan karbon**
    - **Oksida logam**
    - **Lapisan logam**
    - **Lilitan kawat**
  - **Tidak Tetap**
    - **Komposisi karbon**
    - **Lilitan kawat**
    - **Cermet**

a. Resistor Tetap

Sebuah pertanyaan yang tentu saja timbul adalah mengenai bagaimana mengartikan data-data suatu komponen, sehingga dapat dipilih peranti yang betul. Untuk itu kita perlu mengetahui cara kerja peranti tersebut dan mempunyai gambaran secukupnya mengenai karakteristik-karakteristik yang paling penting untuk penerapannya. Berikut adalah parameter-parameter yang perlu diketahui pada resistor resistor tetap. Selain harga, kita juga perlu mempertimbangkan hal-hal berikut :

(a) Ukuran fisik; panjang, diameter, bentuk, dan ukuran sambungan

(b) Rentang resistansi; nilai ohm minimum dan nilai ohm maksimum

(c) Toleransi pemilihan; nilai pemilihan maksimum dan minimum dari resistor, yaitu: $\pm$ 2%, $\pm$ 5%, $\pm$ 10 %, $\pm$ 20 %

(d) Nilai nominal daya; nilai maksimum daya yang dapat ditangani dalam satuan watt, biasanya dinyatakan pada suhu 40 °C

(e) Koefisien suhu; perubahan resistansi, dengan suhu yang dicatat dalam ppm setiap °C (ppm = part per million)

(f) Koefisien tegangan; perubahan resistansi, biasanya negatif, dengan tegangan yang dipasang. Dinyatakan dalam ppm setiap volt

(g) Tegangan kerja maksimum; tegangan maksimum yang dapat dipasang pada resistor

(h) Ketahanan tegangan; tegangan maksimum yang dapat dipasang di antara badan resistor dan suatu konduktor luar yang menyentuh badan resistor tersebut, besaran ini adalah tegangan breakdown dari lapisan isolasi resistor

(i) Resistansi isolasi; resistansi dari lapisan isolasi

(j) Stabilitas operasi beban; perubahan resistansi sesudah suatu waktu operasi yang ditentukan pada beban penuh dan suhu 70 °C. Sebagai waktu operasi biasanya diambil 1000 jam

(k) Stabilitas penyimpanan; perubahan resistansi selama penyimpanan, biasanya diberikan untuk jangka waktu 1 tahun

(l) Rentang suhu kerja; nilai maksimum dan minimum dari suhu lingkungan yang diperkenankan

(m) Suhu permukaan maksimum; nilai maksimum yang diizinkan untuk suhu badan resistor, kadang-kadang disebut sebagai suhu hot spot.

(n) Desah; desah listrik yang disebabkan oleh tegangan yang dipasang yang menekan resistor, diberikan dalam μV/V

(o) Klafikasi kelembaban; perubahan resistansi sebagai akibat uji coba standar yang berulang pada suhu tinggi dan kelembaban. Perubahan ini harus berada pada batas-batas tertentu

(p) Efek penyolderan; setiap perubahan resistansi setelah dilakukan uji coba penyolderan standar.

Pada tabel 2.1 terlihat nilai parameter-parameter resistor tetap yang lazim. Angka-angka yang diberikan dalam kebanyakan hal adalah nilai tipikal, selain beberapa nilai maksimum.

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa jenis resistor terapan umum

No	Item	Jenis Resistor				
		Komposisi Karbon	Karbon Film	Oksida Logam	Lapisan logam	Lilitan Kawat terapan umum
1.	Resistansi	10Ω-22MΩ*)	10Ω-22MΩ	10Ω-1MΩ	10Ω-68MΩ	0,25Ω-10kΩ
2.	Toleransi	±10%	±5%	±2%	±2%	±5%
3.	Batasan daya	250mW-2W	250mW-2W	500mW	500mW	2,5W
4.	Stabilitas beban	10%	2%	1%	0,5%	1%
5.	Tegangan maksimum	150V	200V	350V	250V	200V
6.	Resistansi isolasi	109Ω	1010Ω	1010Ω	1010Ω	1010Ω
7.	Tegangan pengujian	500V	500V	1kV	500V	500V
8.	Koefisien tegangan	2000ppm/V	100ppm/V	10ppm/V	10ppm/V	1ppm/V
9.	Temperatur kerja	-40° s/d +105°C	40° s/d +125°C	-55° s/d +150°C	-55° s/d +150°C	-55° s/d +185 °C
10.	Koefisien temperatur	±1200ppm/°C	±1200ppm/°C	± 250ppm/°C	± 100ppm/°C	± 200ppm/°C
11.	Desah	1kΩ2μV/V	0,1μV/V	0,1μV/V	0,1μV/V	0,01μV/V
12.	Efek penyol-deran	2%	0,5%	0,15%	0,15%	0,05%
13.	Usia pembung-kus 1 tahun	5%maks.	2%maks	0,1%maks	0,1%maks	0,1%maks

Catatan : 100 ppm = 100 x 10^{-6} ohm per ohm per volt, yaitu 100 x 10^{-6}x 100% = 0,01%
*) Sudah tersedia dari ukuran 0,47 ohm – 22 Mohm
Sumber : G Loveday Ceng, hal.9

Dengan mempelajari tabel diatas akan jelas bahwa resistor-resistor untuk penerapan profesional haruslah jenis oksida logam atau lapisan logam,

karena jenis ini mempunyai rentang yang lebar, stabilitas yang baik, dan koefisien suhu yang rendah. Jenis komposisi karbon, yang telah dipergunakan ratusan juta buah, sekarang kurang lazim karena stabilitasnya yang rendah dan koefisien suhunya yang buruk.

Sebelum membahas berbagai jenis resistor, ada baiknya kita lihat cara yang dipergunakan dalam memberi sandi resistor dan nilainya. Sandi warna standar yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Daftar sandi warna resistor karbon

DAFTAR SANDI WARNA RESISTOR					
No	**Warna**	**Angka 1**	**Angka 2**	**FaktorPerkalian**	**Toleransi**
1	Hitam	0	0	10^0	-
2	Coklat	1	1	10^1	1 %
3	Merah	2	2	10^2	-
4	Orange/ Jingga	3	3	10^3	2 %
5	Kuning	4	4	10^4	-
6	Hijau	5	5	10^5	-
7	Biru	6	6	10^6	-
8	Ungu / Violet	7	7	10^7	-
9	Abu-abu	8	8	10^8	-
10	Putih	9	9	10^9	-
11	Emas	-	-	10^{-1}	5 %
12	Perak	-	-	10^{-2}	10 %
13	Tanpa warna	-	-	-	20 %

Sumber : Agus Irawan, hal.45

Untuk membaca nilai tahanan resistor yang mempunyai sandi warna dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

1) Gelang warna yang terdekat dengan salah satu terminal resistor disebut dengan gelang warna satu.
2) Gelang warna berikutnya adalah gelang warna dua, tiga dan empat.

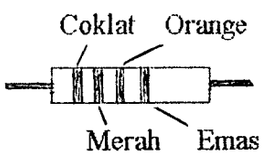
3) Gelang pertama dan kedua menyatakan angka pertama dan angka kedua dari nilai tahanan resistor tersebut.

4) Gelang ketiga adalah faktor perkalian (10^{n}) atau banyaknya angka nol setelah angka pertama dan kedua.

5) Gelang keempat merupakan toleransi nilai tahanan.

6) Ketentuan sandi warna tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2 diatas.

Umpamakan sebuah resistor memiliki sandi warna sebagai berikut :



Maka nilai tahanannya adalah :

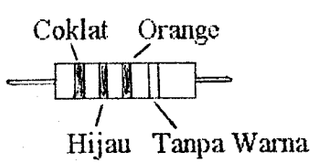
Coklat = 1, Merah = 2, Orange = 10^3, Emas = 5%

Maka R = 12 x 10^3 $\pm$ 5 %

Atau R = 12000 Ω atau 12 KΩ $\pm$ 5 %

Gambar 2.1 Cara pembacaan tahanan resistor empat sandi warna

Jika sebuah resistor mempunyai tiga sandi warna dan ditambah satu pita tanpa warna, maka pembacaan nilai tahanannya adalah sebagai contoh berikut :



Maka nilai tahanannya adalah :

Coklat = 1, Hijau = 5, Orange = 10^3

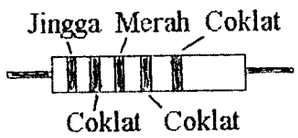
Tanpa warna = toleransi 20 %

Maka R = 15 x 10^3 $\pm$ 20

Atau R = 15000 Ω atau 15 KΩ $\pm$ 20 %

Gambar 2.2 Cara pembacaan tahanan resistor dengan tiga sandi warna dan satu tanpa warna

Kemudian untuk resistor yang mempunyai ketelitian lebih tinggi, seperti resistor lapisan logam (metal), biasanya mempunyai lima buah sandi warna seperti contoh berikut :



Maka nilai tahanannya adalah :

Warna pertama, kedua dan ketiga adalah merupakan tiga angka pertama dari tahanan , warna keempat faktor pengali dan warna kelima sebagai toleransi.

Dengan demikian nilai tahanan resistor adalah Jingga – Coklat-Merah –Coklat-Coklat $=472 \times 10^1\ \Omega \pm 1\ \%$ atau $4{,}72\ K\Omega \pm 1\ \%$

Gambar 2.3 Cara pembacaan tahanan resistor dengan lima sandi warna

Pada saat ini kebanyakan nilai resistor dengan toleransi 10 % menggunakan nilai deret yang disebut nilai deret seri E12. Deret ini mempunyai 12 nilai, yaitu : 1,0 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 dan 8,2. Deret ini mempunyai nilai hambatan yang merupakan kelipatan 10^n, (dimana n = -1, 0, 1, 2, 3, ...). Kemudian untuk resistor dengan toleransi 5 % digunakan nilai deret seri E24 yang terdiri dari 24 nilai, yaitu : 1,0 – 1,1 – 1,2 – 1,3 – 1,5 – 1,6 – 1,8 – 2,0 – 2,2 – 2,4 – 2,7 – 3,0 – 3,3 – 3,6 – 3,9 – 4,3 – 4,7 – 5,1 – 5,6 – 6,2 – 6,8 – 7,5 – 8,2 – 9,1.

Perlu diperhatikan bahwa untuk masa yang akan datang akan banyak

resistor yang diberi kode menurut BS 1852 seperti ditunjukkan pada contoh dibawah. Nilai dan toleransi resistor dicetak pada badan resistor dan tidak ditunjukkan dengan pita (sandi) warna seperti yang dikenal sekarang. Sesudah kode nilai, ditambah sebuah huruf untuk menunjukkan toleransi :

F ± 1 % G ± 2% I ± 5 % K ± 10 % M ± 20 %

Jadi, R33M adalah sebuah resistor dengan nilai 0,33Ω± 20 %

4k7F adalah sebuah resistor dengan nilai 4700Ω± 1 %

6M8M adalah sebuah resistor dengan nilai 6,8MΩ± 20 %

22KK adalah sebuah resistor dengan nilai 22.000Ω± 10 %

Contoh pemakaian *Kode resistansi BS 1852 :*

Resistansi	**Penandaan**
0,47Ω	R47
1,0Ω	1R0
6,8Ω	6R8
68Ω	68R
100Ω	100R
1kΩ	1k0
4,7kΩ	4k7
100kΩ	100k
10MΩ	10M

Tabel 2.3 Nilai Resistor seri E24, E12, E6 dan E96

No	Seri	Nilai
1	E24	1,0 – 1,1 – 1,2 – 1,3 – 1,5 – 1,6 – 1,8 – 2,0 – 2,2 – 2,4 – 2,7 – 3,0 – 3,3 – 3,6 – 3,9 – 4,3 – 4,7 – 5,1 – 5,6 – 6,2 – 6,8 – 7,5 – 8,2 – 9,1.
2	E12	1,0 – 1,2 – 1,5 – 1,8 – 2,2 – 2,7 – 3,3 – 3,9 – 4,7 – 5,6 – 6,8 dan 8,2.
3	E6	10 – 15 – 22 – 33 – 47 – 68
4	E96*)	100 – 102 – 105 – 107 – 110 – 113 – 115 – 118 - dst.

*) Khusus untuk nilai yang sangat presisi (toleransi ± 1%)
Sumber : GC. Loveday, hal.40

Adalah mungkin untuk membeli sebuah resistor dengan nilai tertentu. Namun, untuk kebanyakan hal dapat ditemukan nilai yang cocok di dalam rentang yang dipilih. Ambil sebagai contoh sebuah resistor dalam penerapan tidak kritik, yang nilainya dihitung sebesar 9,4 Ω, dengan toleransi 20 %. Nilai yang dipilih dalam deret E12 adalah sebesar 10 Ω dengan toleransi sebesar ± 10 % dapat terletak dimana saja antara 9Ω dan 11Ω. Nilai 9,1 Ω tidak terlihat dalam seri E12 karena nilai tersebut ada pada batas-batas dari 8,2Ω dan 10Ω seperti terlihat dibawah ini.

Nilai-nilai resistansi E12 :

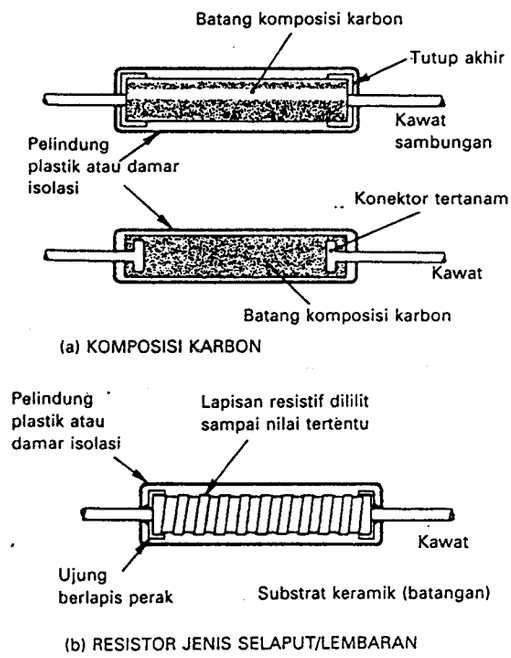
8,2 Ω ± 10 %	Nilai Min.	7,38Ω
	Nilai maks.	9,02Ω
10 Ω ± 10 %	Nilai Min.	9,00Ω
	Nilai maks.	11,00Ω
12 Ω ± 10 %	Nilai Min.	10,80Ω
	Nilai maks.	13,20Ω

1) Kontruksi Resistor Tetap

a) Komposisi karbon

Konstruksi resistor-resistor tetap diperlihatkan pada gambar 2.4. Jenis komposisi karbon dibuat dengan jalan mencampur karbon yang digiling halus dengan bahan pengikat damar dan bahan pengisi yang bersifat sebagai isolasi. Campuran yang dihasilkan dimamfatkan, dibentuk menjadi batangan, dan kemudian dipanasi di dalam tanur. Perbandingan antara karbon dengan bahan pengisi yang mengisolasi menentukan nilai akhir resistansi. Tutup ujung yang dilapisi perak yang diberi sambungan-sambungan tembaga berlapis timah tipis selanjutnya ditekan pada batangan itu. Sebagai kemungkinan lain, beberpa pabrik membentuk

karbon itu disekeliling sambungan sehingga sambungan itu terbenam. Cara yang terakhir secara mekanik lebih kuat dan mengurangi resiko terjadinya desah elektrik sebagai akibat sambungan yang buruk. Akhirnya, kesehuruhan resistor itu dibentuk di dalam plastik atau diberi beberapa lapisan pernis sebagai isolator elektrik dan pelindung terhadap udara basah.



Gambar 2.4 Konstruksi resistor-resistor tetap
(GC.Loveday, hal.41)

b) Resistor-resistor film

Resistor-resistor film dibuat dengan cara mengendapkan lapisan bahan resitif secara merata pada batangan keramik bermutu tinggi. Bahan resistor itu dapat berupa karbon murni (selaput karbon), khromium nikel (selaput logam), campuran logam dengan gelas (lapisan logam), atau logam dan oksida pengisolasi (oksida logam). Pemilihan batang keramik adalah penting karena hal ini akan meningkatkan atau menurunkan sifat-sifat resistor pada akhirnya. Misalnya, pemuaian termalnya harus sesuai dengan pemuaian bahan film untuk mencegah lapisan film itu retak. Bahan

yang umum digunakan adalah aluminium.

Kemudian nilai resistansi yang dibutuhkan diperoleh dengan mengiris jejak berulir pada bahan film atau dengan perkataan lain ; memotong melingkar sebagian dari film yang resitif. Dengan menggunakan jarak yang berdekatan nilai resistansi dapat diperbesar sampai 100 kali atau lebih. Teknik pembuatan ulir itu mempunyai keuntungan tambahan yaitu bahwa nilai akhir resistor dapat ditala ke toleransi yang sangat rapat, misalnya $\pm$ 1 % atau lebih kecil dari itu.

Pada resistor film, bahan yang dipergunakan dan tebal lapisan film menentukan nilai resistansi awal. Sebagai contoh, film logam dari khrom-nikel, kira-kira setebal 0,015 μm, akan memberikan resistansi sekitar 125 ohm persatuan luas. Istilah ohm persatuan luas lazim digunakan dengan alasan berikut :

BROCHOVICS

$$R = \rho \; l / a$$

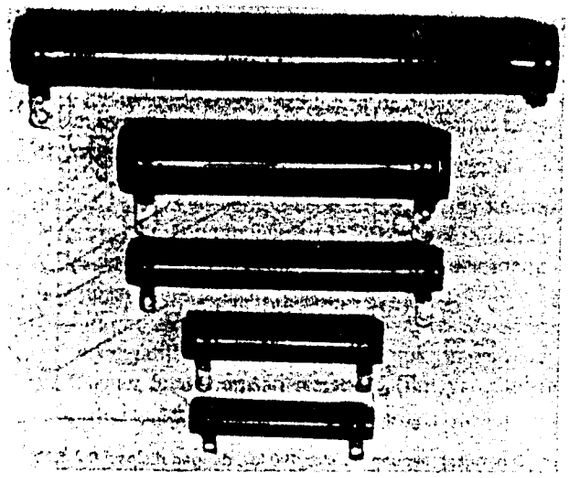
Dalam persamaan ini, ρ adalah resistivitas bahan, l adalah panjang bahan, dan **a** adalah luas penampang. Bila kita lihat lebih cermat salah satu resistor dari resistor film, jenis lapisan logam, prosesnya adalah seperti berikut. Pertama, sebatang logam, baik chrom, tungsten, thalium, tantalum atau jenis lainnya, digiling menjadi partikel-partikel halus dalam ukuran mikron. Selanjutnya, bubuk logam ini dicampur dengan bubuk gelas dengan ukuran serupa dan bahan pelarut organik. Persentase gelas terhadap logam akan menentukan resistansi lembaran lapisan bahan, atau kadang-kadaang disebut *resistive ink*. Lapisan itu kemudian dipoleskan pada batangan keramik dan dipanasi pada suhu sekitar 1150 ^{0}C

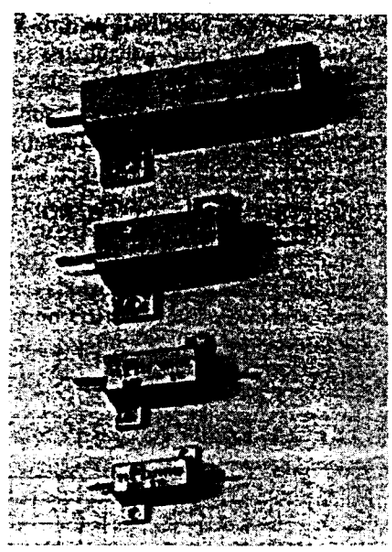
selama lebih kurang 30 menit. Hal ini menyebaabkan gelas meleleh dan mulai mengalir, sehingga melekatkan lapisan pada batangan keramik dan ini dapat menghasilkan komponen yang sangat stabil. Tutup-tutup ujung dipasang dengan diberi sambungan-sambungan tembaga berlapis timah dan nilai resistansinya kemudian diatur dengan mengiris jejak berulir pada lapisan dengan roda intan. Resistor yang telah selesai kemudian dibentuk dalam bahan plastik untuk memberi isolasi elektrik dan perlindungan terhadap lingkungan.

c) Resistor lilitan kawat

Kebanyakan resistor-resistor yang telah dibahas diatas, kebanyak mempunyai nilai nominal daya tipikal 250 mW, meskipun dengan memperbesar ukuran fisiknya dapat dihasilkan nilai nominal daya 500mW, 1W dan 2W. Untuk disipasi panas yang lebih besar tersedia resistor lilitan kawat, seperti terlihat pada gambar 3.5 dengan nilai nominal daya dari 1W sampai diatas 25 W. Sebuah resistor lilitan kawat dibuat dengan cara melilitkan kawat resistasi pada bahan isolator. Bahan yang lazim dipergunakan adalah khrom-nikel, senyawa-senyawa tembaga nikel (Eureka), dan senyawa-senyawa dari nikel dan perak. Kawat dihasilkan dengan cara menarik bahan yang bersangkutan melalui mesin cetakan yang sesuai dan kemudian menyepulnya. Kawat harus mempunyai keseragaman yang baik, dapat dibentuk, tahan korosi, dan mempunyai resistivitas yang cukup tinggi. Kemampuan untuk dibentuk adalah penting, kalau tidak kawat dapat retak atau patah setelah dililitkan. Pada resistor-resistor yang lebih besar, dibuatkaan sambungan-sambungan dari pita logam yang menghantar dengan suatu pengikat. Resistor-resistor lilitan kawat yang lebih kecil

dapat diberi tutup-tutup ujung atau suatu sambungan yang dilekatkan pada ujung-ujung kawat resistansi. Penghantar sambungan itu lalu dilipat dan dimasukkan kedalam badan keramik. Ini mengikat sambungan-sambungan kawat dengan kuat dan menghindarkan resistor dari tegangan mekanik.





Gambar 2.5 Bentuk-bentuk resistor lilitan kawat
(Umar Sukrisno, hal.21)

Pada umumnya resistor-resistor lilitan kawat dilapisi email mengkilat yang menghasilkan perlindungan yang sangat baik terhadap udara lembab, memungkinkan disipasi panas yang lebih baik, dan tidak dapat terbakar; jenis lain ada juga yang dilapisi dengan semen, dan tentu saja ini tidak tahan terhadap udara lembab.

Untuk mendapatkan nilai resistansi yang relatif tinggi, kawat harus dibuat tipis dan harus digunakan banyak lilitan, sehingga nilai maksimum untuk lilitan kawat dibatasi sampai kira-kira 100kΩ. Bila diperlukan disipasi daya yang lebih besar , digunakan resistor-resistor lilitan kawat kegunaan umum, tetapi penerapan yang penting lainnya adalah dalam penyediaan resistor presisi dengan koefisien suhu yang sangat rendah dan stabbilitas yang sangat baaik. Toleransi dapat dibuat lebih kurang 0,1 %, koefisien suhu lebih kurang 5% ppm/^{0}C, dan stabilitas jangka panjang di atas 40 ppm/tahun. Jenis-jenis resistor lain tidak dapat mendekati tingkat kerja ini.

b. Kegagalan resistor tetap

Tingkat kesalahan dan pola kesalahan dari sebuah resistor tergantung pada jenisnya, metoda pembuatan, keadaan operasi dan keadaan lingkungan, serta nilai resistansinya.

Pada waktu beroperasi, setiap resistor harus mendisipasikan daya. Pada suhu lingkungan yang rendah dapat didisipasikan sejumlah daya yang besar, tetapi disipasi yang rendah akan menghasilkan stabilitas yang lebih baik dan nilai tingkat kesalahan yang lebih rendah. Karena kebanyakan resistor mempunyai konstruksi yang seragam, kenaikan suhu yang disebabkan oleh daya yang didisipasikan akan maksimum pada bagian tengan badan

resistor. Ini disebut *suhu titik panas*. Stabilitas adalah persentase perubahan nilai resistansi dengan waktu.

Sesungguhnya kalau nilai resistor keluar dari spesifikasi, akan berakibat terjadinya kesalahan sebagian atau bertahap. Perlu ditekankan bahwa pada umumnya resistor-resistor menunjukkan tingkat kesalah yang sangat rendah atau dengan perkataan lain komponen ini sangat andal. Namun, kesalahan dapat terjadi karena selama berjalannya waktu, tekanan dan getaran mekanik, panas, tegangan yang dipasang dan kelembaban semuanya bekerja dan menyebabkan perubahan kimiawi atau lainnya dan secara berangsur-angsur menyebabkan kerusakan. Kesalahan-kesalahan dan kemungkinan penyebabnya dirinci pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Kerusakkan resistor tetap

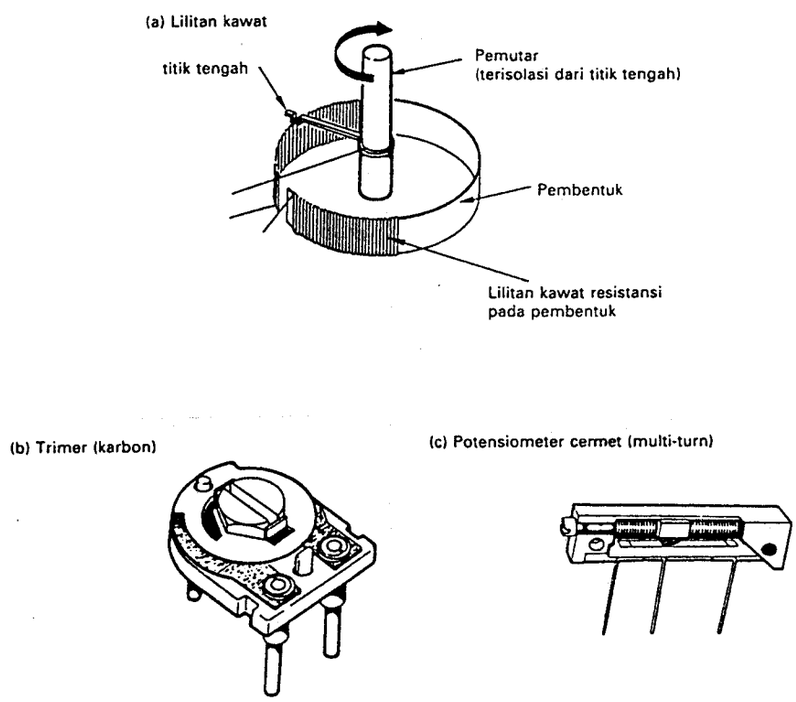
No	Jenis Resistor	Kerusakan	Kemungkinan penyebab kerusakan
1	Komposisi karbon	Nilai tinggi	Gerakan karbon atau bahan pengikat karena pengaruh panas, tegangan atau udara lembab. Penyerapan udara lembab menyebabkan pembengkakan, yang membuat partikel-partikel karbon terpisah.
		Putus	Panas yang berlebihan yang membakar pusat resistor. Tekanan mekanik meretakkan resistor. Tutup-tutup yang terlepas karena pemasangan yang tidak baik pada papan rangkaian. Putusnya kawat karena pembengkokan berulang-ulang.
2	Resistor film	Putus	Kehancuran film karena suhu atau tegangan tinggi. Selama produksi lapisan film dapat tergores atau teriris. Pada nilai-nilai yang lebih tinggi dari 1 Mohm, ulir resistansi harus dibuat haalus sehingga kemungkinan putus menjadi lebih besar.
		Desah tinggi	Kontak yang jelek dari sambungan ujung. Biasanya akibat tekanan mekanik karena perakitan yang kurang baik pada suatu rangkaian.

No	Jenis Resistor	Kerusakan	Kemungkinan penyebab kerusakan
3	Lilitan kawat	Putus	Keretakkan kawat, terutama bila dipergunakan kawat halus. Kristalisasi progresif dari kawat karena ketidak murnian (menjurus ke keretakkan). Korosi kawat karena kegiatan elektrolitik akibat penyerapan udara lembab. Kegagalan pada hubungan ujung yang disolder.

Sumber : Agus Irawan, hal.70

b. Resistor Variabel

Pada dasarnya komponen yang berguna ini terdiri atas jalur dari bahan resistif dan penjejak (wiper) yang dapat bergerak membuat kontak dengan jalur itu. Konstruksi yang paling sederhana diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Beberapa konstruksi dasar resistor variabel
(Umar Sukrisno, hal.21)

1) Konstruksi Resistor Variabel

Sesungguhnya metoda pembuatannya sangat beragam, akan tetapi dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok utama, berdasarkan bahan resistif yang digunakan, yaitu :

(a) *Karbon*, dapat berupa cetakan komposisi karbon yang memberikan jalur yang kokoh, atau suatu lapisan karbon ditambah bahan pengisi yang mengisolasi suatu lapisan bawah (substrate)

(b) *Lilitan kawat,* dari kawat nichrome atau kawat resistansi lain yang dililit pada bahan pembentuk yang sesuai.

(c) *Cermet* suatu lapisan resistansi film yang tebal pada lapisan bawah keramik.

Beberapa jenis resistor yang berlainan dibentuk dari lilitan tunggal jenis geser terbuka atau tertutup dan mempunyai banyak lilitan (multi-turn). Komponen ini hanya dimaksudkan sebagai sebuah resistansi yang perlu disetel terlebih dahulu, sehingga selama masa kerjanya hanya diatur beberapa kali saja, atau sebagai pengatur yang perlu diubah-ubah terus-menerus sepanjang keseluruhan jalurnya. Biasanya untuk penggunaan yang terakhir diperlukan potensiometer, dimana potensiometer harus kuat, stabil dan dapat melakukan ribuan putaran sebelum mengalami kegagalan. Biasanya kebutuhan sebuah potensiometer termasuk salah satu dari tiga kategori berikut

(a) Penyetel awal (preset) atau Trimmer

(b) Pengatur untuk kegunaan umum

(c) Pengatur presisi

Contoh-contoh tipikal dan serta unjuk kerja yang diperlukan diberikan pada tabel **2.5** berikut :

dengan kontak *intermitent* . Hal ini dapat disebabkan oleh partikel-partikel debu, gemuk atau benda abrasif yang tertahan diantara kontak geser dan jalur resistansi. Pada kontruksi jenis terbuka dimungkinkan untuk dihilangkan bahan itu dengan bahan pembersih.

Kegagalan penuh adalah terjadinya rangkaian terbuka (putus), antara jalur dan sambungan-sambungan ujung atau antara kontak geser dengan jalur. Hal ini dapat disebabkan oleh korosi bagian-bagian logam akibat udara lembab atau pembengkakan dan distorsi dari bagian-bagian plastik seperti menggumpalnya jalur akibat udara lembab atau suhu tinggi.

2. Kapasitor (C)

Kapasitor adalah komponen listrik yang banyak dipakai dalam rangkaian listrik yang terdiri dari dua pelat konduktor dan diantara kedua pelat tersebut disekat dengan bahan tertentu yang disebut dielectric. Sebuah kapasitor dapat dimuati listrik. Besarnya kemampuan sebuah kaspasitor menampung muatan listrik tergantung pada kapasitasnya (Q) . Satuan kapasitas kapasitor dinyatakan dalam Farad (F), dimana besarnya satu Farad itu sama dengan jika sebuah kapasitor berada pada sumber tegangan sebesar 1 volt dan menerima muatan 1 coulomb. Hubungan di atas dapat diringkaskan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = C \cdot E \quad \text{Coulomb}$$ .....Toyota, 7-7

Dimana, Q = Muatan yang disimpan pada dielectric dalam Coulomb

E = Tegangan kapasitor dalam Volt

C = Kapasitas kapasitor dalam Farad (Coulomb/Volt)

Nilai C dapat diperoleh dari persamaan :

$$C = \varepsilon_0 . \varepsilon_r \, (A/d), \quad \ldots\ldots\ldots\ldots$$ Toyota, hal.7-11

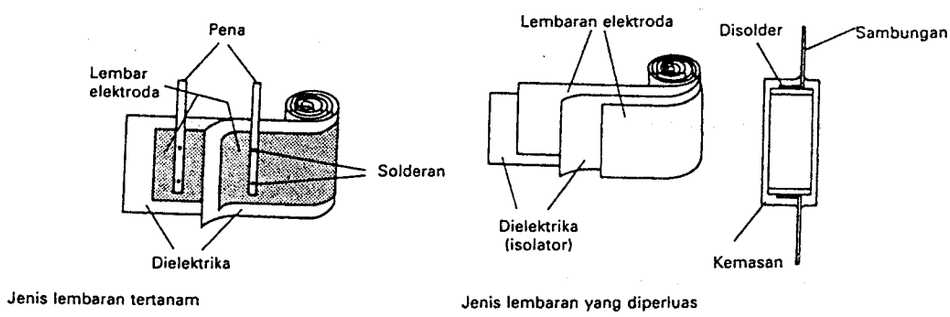
Dimana, ε_0 = Permitivitas mutlak

ε_r = Permitivitas relatif (konstanta dielektrika)

A = Luas penampang pelat

d = Jarak antara kedua pelat, yakni tebal dielektrika

Kebanyakan dalam pemakaiannya, kapasitas sebuah kapasitor yang digunakan kurang dari satu farad. Dan ini dinyatakan dalam satuan mikro farad (1 μF = 10^{-6} F) atau dalam satuan yang lebih kecil lagi nano farad (1 nF = 10^{-9} F) dan pico farad (1 ρF = 10^{-12} F).



Gambar 2.7 Konstruksi kapasitor
(Malvino, hal.129)

Secara garis besar, kapasitor-kapasitor modern dapat digolongkan menurut dielektrika seperti dalam tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kapasitor diklasifikasikan menurut dielektrikanya

No	Dielektrika	Permitivitas
1	Keramik (a) Jenis rugi-rugi rendah (b) Kompensasi suhu (c) Permitivitas (k) tinggi	 7 90 1000-50.000
2	Mika (perak-mika)	4-6
3	Kertas (damar), yang mulai digantikan oleh polipropilen	4
4	Lembaran plastik	2,8
5	Polikarbonat	2,4
6	Polistiren	3,3
7	Polipropilen	2,25
8	Elektrolik aluminium oksida	7-9
9	Elektrolik tantalum oksida	27

Sumber : Agus Irawan, hal.59

Masing-masing jenis kapasitor diaatas mempunyai keuntungan-keuntungan dan lapangan penggunaan tertentu. Pemakaian kapsitor sangat luas sekali dan mencakup :

(a) Pengelasan dan blizt

(b) Kontak-kontak pemadam bunga api pada thermostat, relai, dsb.

(c) Penyimpanan dan filter perata dalam caatu daya

(d) Kopling daan dekopling dalam penguat

(e) Menyetel rangkaian-rangkaian resonan

(f) Penentu waaktu monostabil, rangkaian tunda, dan multivibrator

(g) Filter, pembentuk gelombang, daan osilator

(i) Koreksi faktor daya

(j) Starter motor, dsb.

Besar kapasitansi tidaklah tetap, tetapi berubah-ubah menurut suhu, tegangan yang dipakai , dan frekwensi kerja. Dengan kenaikkan suhu, pemuaian bahan-bahan dan perubahan dalam permitivitas dielektrika menyebabkan perubahan kapasitansi. Berikut dapat dilihat nilai-nilai tipikal resistor.

Berikut dapat dilihat nilai-nilai tipikal kapasitor.

Tabel 2.8 Nilai Tipikal Kapasitor

Type		*Range*	*Tolerance*	*Typical a.c. Voltage*	*Typical d.c. Voltage*
PAPER	foil metallised	10 nF to 10 μF	±10%	250 V/500 V rms	600 V
SILVER MICA		5 pF to 10 nF	±0.5%	–	60 V to 600 V
CERAMIC	low-loss high k monolithic	5 pF to 10 nF 5 pF to 1 μF 1 nF to 47 μF	±10% ±20% ±10%	250 V	 60 V to 10 kV 60 V to 400 V
POLYSTYRENE		50 pF to 0.5 μF	±1%	150 V	50 V to 500 V
POLYESTER	foil metallised	100 pF to 10 nF 1 nF to 2 μF	±5%	400 V rms	400 V
POLYPROPYLENE		1 nF to 100 μF	±5%	600 V	1250 V
ALUMINIUM ELECTROLYTIC	plain foil etched foil	1 μF to 22 000 μF 1 μF to 100 000 μF	–20% +50%	Polarised Polarised	6 V to 100 V
TANTALUM ELECTROLYTIC	foil solid/wet	1 μF to 1000 μF 1 μF to 2000 μF	±10% ±5%	Polarised Polarised	1 V to 50 V

Type		*Temperature coefficient*	f_R	tan δ	*Leakage resistance*	*Stability*	*Typical application*
PAPER	foil metallised	300 p.p.m./°C	0.1 MHz	0.005 0.01	10^{10} Ω 10^{9} Ω	Fair	Motor start and run Mains interference suppression
SILVER MICA		100 p.p.m./°C	10 MHz	0.0005	10^{11} Ω	Excellent	Tuned circuits Filters
CERAMIC	low-loss high k monolithic	±30 p.p.m./°C Varies Varies	10 MHz 10 MHz 100 MHz	0.002 0.02 0.02	10^{8} Ω 10^{8} Ω 10^{10} Ω	Good Fair Good	Temp. compensating Coupling & decoupling
POLYSTYRENE		–150 p.p.m./°C	10 MHz	0.0002	10^{12} Ω	Excellent	Tuned circuits Filters Timing
POLYESTER	foil metallised	400 p.p.m./°C	1 MHz 0.5 MHz	0.005 0.01	10^{10} Ω 10^{11} Ω	Fair	General purpose Coupling & decoupling
POLYPROPYLENE		–170 p.p.m./°C	1 MHz	0.0003	10^{10} Ω	Fair	Mains suppression Motor start & run
ALUMINIUM ELECTROLYTIC	plain foil etched foil	1500 p.p.m./°C	0.05 MHz	0.08	Specified by leakage current	Fair	Decoupling L.F. Reservoir & smoothing-in power supplies
TANTALUM ELECTROLYTIC	foil solid/wet	500 p.p.m./°C 200 p.p.m./°C	0.1 MHz	0.01 0.001	Specified by leakage current	Good Excellent	Coupling and decoupling at L.F. Timing, etc.

Sumber : GC.Loveday, hal.50, 51

a. Kapasitor Tetap

Pada dasarnya konstruksi kebanyakan jenis kapasitor sama bentuknya. Jenis-jenis yang utama adalah sebagai berikut :

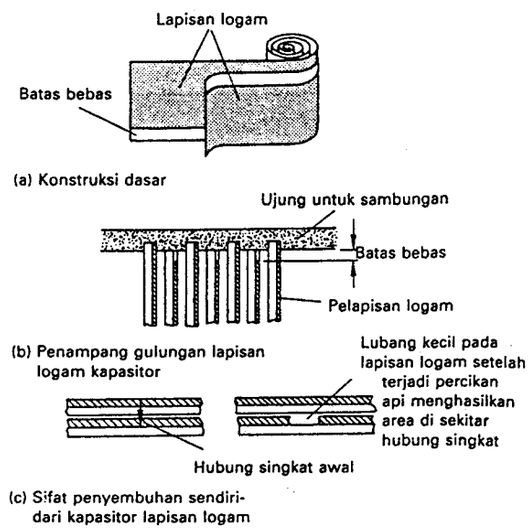
1) Kapasitor kertas

Terdiri dari lembaran kertas tipis yang dicelupkan kedalam minyak atau lilin untuk mencegah terhisapnya udara lembab dan juga untuk memperbesar kekuatan dielektrika. Kemudian kertas ini dilapisi dengan lembaran tipis aluminium seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.7 diatas. Kontak pada lembaran logam dibuat dengan menyoldernya pada carikan logam (tab) yaang menghasilkan rancangan " lembaran tertanam " atau dengan memperpanjang lembaran itu pada setiap ujungnya. Pada jenis lembaran yang diperpanjang, sambungan ujung dibuat dengan menyolder sebuah tutup ujung pada lembaran yang muncul. Terakhir, kapasitor ditutup rapat dalam sebuah kaleng logam, atau dikemas dalam lapisan damar.

2) Kapasitor lapissan logam

Kapasitor-kapasitor logam cenderung untuk menjadi agak besar nilai kapasitansinya karena lembaran-lembaran itu sendiri dapat mempunyai tebal 5μm dan kertasnya misalkan 10μm. Secara fisik, kapasitor-kapasitor yang lebih kecil dibuat dengan memberikan logam pada dielektrika dengan mengendapkan aluminium pada kertas yang bersangkutan. Kapasitor-kapasitor yang dilapisi logam mempunyai pinggiran yang bebas (lihat gambar 2.8) sehingga dapat dibuat sambungan-sambungan ujung. Keuntungan lain dari jenis yang dipisi logam adalah bahwa jenis ini mempunyai sifaat yang disebut "penyembuhan sendiri". Bila dielektrika rusak pada satu tempat karena satu hal, panas yang ditimbulkan oleh bunga api akan segera menguapkan lapisan logam yang tipis disekitar kerusakan,

dan hal ini akan menghentikan hubungan singkat. Pada kapasitor-kapasitor jenis lembaran logam tidak terdapat sifat "penyembuhan sendiri", dan suatu kerusakan didalam dielektrika akan menimbulkan bunga api yang memperparah kerusakan dielektrika itu dan dengan cepat membuat kapasitor menjadi rusak samasekali. Keuntungan jenis lembaran logam dari jenis lapisan logam adalah bahwa lembaran logam dapat mendisipasikan panas lebih banyak, dan mempunyai karakteristik pulsa dan beban lebih yang lebih baik.



Gambar 2.8: Kapasitor lapisan logam
(Ganti Depari, hal.93)

3) Kapasitor film plastik

Jenis ini konstruksinya serupa sekali dengan kapasitor kertas, dan jenis lembaran logam maupun lapisan logam. Pada jenis lembaran logam, beberapa film tipis yang terbuat dari bahan plastik diselingi kertas aluminium dan dengan mesin digulung menjadi sebuah kumparan. Kemudian kumparan itu dilengkapi dengan tutup-tutup ujung dan dibungkus dengan damar atau pernis isolasi. Kapasitor-kapasitor film polistiren/lembaran

logam merupakan kapasitor-kapasitor plastik pertama yang diproduksi dan memberikan stabilitas yang baik sekali, resistansi isolasi tinggi, serta koefisien suhu rendah. Jenis ini diproduksi dengan toleransi cukup kecil. Kapasitor dielektrika plastik yang banyak digunakan dalam rangkaian-rangkaian elektronik untuk penerapan yang tidak kritik adalah jenis polietilen yang diberi logam, yakni film tereptalat. Jenis-jenis ini lebih umum disebut sebagai kapasitor poliester.

4) Kapasitor mika

Mika adalah zat yang terdapat secara alamiah dengan struktur kristalnya yang serupa pelat, sehingga dapat dilaminasi menjadi lembaran-lembaran yang sangat tipis. Mika adalah bahan yang sangat stabil dengan permitivitas tinggi, sehingga kapasitor yang terbuat dari bahan ini menghasilkan unjuk kerja yang baik. Elektroda-elektroda perak diberi logam langsung pada lembaran-lembaran mikanya dan beberapa darinya ditumpuk menjadi kapasitor lengkap. Rakitan ini selanjutnya dibentuk dalam plastik atau dicelup dalam damar. Yang disebut belakangan mempunyai keandalan yang lebih tinggi karena selama proses perapatan, tekanan yang diterapkan pada kapasitor lebih kecil.

5) Kapasitor keramik

Secara garis besarnya, jenis ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu jenis rugi-rugi rendah dengan permitivitas rendah dan jenis dengan permitivitas tinggi. Jenis rugi-rugi rendah biasanya dibuat dari steatite, suatu mineral alamiah. Bahan ini digiling halus, dipress kemudian dipanaskan sampai kira-kira 900^0C untuk menghilangkan ketidakmurnian. Setelah digiling lagi, bahan ini dibentuk kembali pada suhu sekitar 1300^0C. Kapasitor keramik dibuat dalam bentuk piringan, tubular, dan pelat persegi.

Sebagai contoh, selembar pelat tipis diberi logam pada kedua sisinya dan sambungan-sambungan penghantar disolderkan pada bagian tersebut. Selanjutnya badannya diberi beberpa lapisan pernis isolasi.

Keramik dengan permitivitas tinggi mempunyai keuntungan dalam mendapatkan kapasitansi yang relatif besar dengan volume kecil. Bahan yang biasa digunakan adalah barium titanat. Permitivitasnya dapat mencapai 10.000. Kapasitor-kapasitor seperti itu sangat bermanfaat untuk kopling dan dekopling dalam kegunaan umum dimana dapat ditolerir adanya variasi yang cukup lebar dalam nilai kapasitansi yang disebabkan karena suhu, frekwensi, tegangan dan waktu.

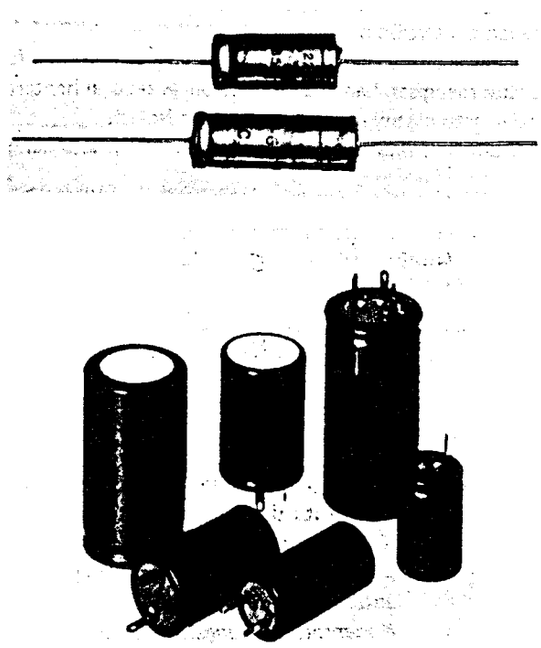
6) Kapasitor Elektrolik

Jenis ini merupakan salah satu kapasitor yang memiliki hasil kali CV yang tertinggi diantara semua kapasitor, dan lazim dipergunakan sebagai penyimpan serta elemen perata dalam unit-unit daya, dan juga sebagai kopling dan dekopling pada penguat-penguat AF. Nilai kapasitansi yang tinggi diperoleh karena kenyataan bahwa dielektrik yang dibentuk dari proses elektrolit adalah sangat tipis. Kapasitor elektrolik dapat dibagi dalam sub kelompok sebagai berikut :

a) Aluminium	Lembaran rata Lembaran tercetak Padat
b) Tantalum	Padat Endapan basah

Pada elektrolik aluminium, kertas aluminium dengan kemurnian yang sangat tinggi dimasukkan kedalam bak berisi elektrolik dan digerakkan dalam bak ini dengan kecepatan tetap serta diberikan tegangan tertentu. Tegangan ini menyebabkan arus pembentuk mengalir yang nilainya berangsur-angsur surut

bila oksida aluminium terbentuk pada permukaan kertas alumnium. Lapisan tipis oksida aluminium ini adalah sebagai isolator dan berfungsi sebagai dielektrika kapasitor. Lembaran anoda dengan lapisan tipis, oksidanya digulung bersama dengan lembaran yang lain dan pemisah-pimisah dari kertas tissue pada sebuah mesin penggulung. Pemisah-pemisah kertas menjadi jenuh dengan elektrolik seperti amonium borat atau etilen glikol dan elektrolik ini, sebagai penghantar, adalah merupakan sebagai katoda pada kapasitor itu.



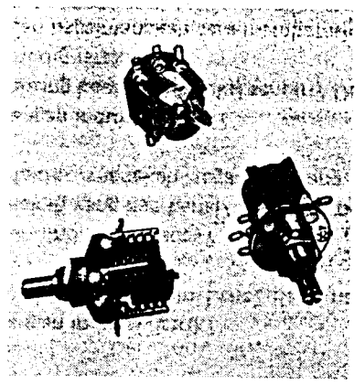
Gambar 2.9 Kapasitor Elektrolik aluminium
(Umar Sukrisno, hal.50)

b . Kapasitor Variabel

Kapasitor ini mempunyai harga kapasitansi yang dapat dirubah-rubah sesuai dengan batasan maksimal kapasitas kapasitor tersebut. Kapasitor ini digunakan untuk pemancar, penerima pada rangkaian osilator, atau penala frekwensi.

Kapasitor ini terdiri dari dua baris pelat-pelat penghantar yang satu dengan yang lain saling bersisihan. Papan tersebut berbentuk separoh lingkaran.

Papan pertama dihubungkan dengan papan ke tiga, kelima dan seterusnya. Sedangkan papan kedua dihubungkan dengan dengan papan ke empat, enam dan seterusnya.



Gambar 2.10 Konstruksi kapasitor variabel
(Umar Sukrisno, hal.49)

Baris papan yang satu dengan yang lainnya saling dapat diputar, sehingga papan yang saling berhadapan dapat diubah luasnya dan ini menyebabkan kapasitansinya dapat dirubah-rubah. Apabila papan A pada gambar 2.10 diputar kedalam, luas kondensator diperbesar sehingga kapasitansinya akan bertambah. Kapasitansinya akan mencapai maksimum jika papan A diputar sepenuhnya kearah kedalam sehingga saling berdempetan satu dengan yang lainnya secara penuh.

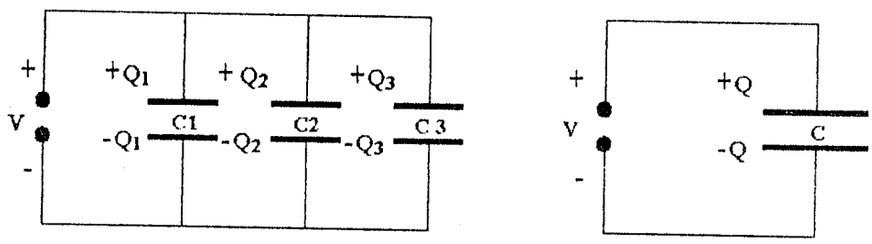
Apabila papan A diputar penuh keluar, maka nilai kapasitansinya akan mencapai nilai paling rendah, namun tidak dapat mencapai titik nol sebab diantara papan-papan tersebut masih ada beberapa jarak.

Ukuran kapasitor ini tidaklah begitu besar karena bahan dielektrikanya umumnya adalah udara, walaupun ada yang terbuat dari mika, keramik. Konstruksi dari kapasitor ini dapat dilihat pada gambar diatas.

c. Rangkaian Kapasitor

1) Kapasitor dengan Rangkaian Paralel

Rangkaian kapasitor paralel digunakan untuk meninggikan atau menaikkan harga kapasitansinya. Bentuk rangkaiannya dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut,



(a) C_1, C_2 dan C_3 dihubungkan paralel

(b) Kapasitor C setara dengan rangkaian a

Gambar 2.11 Rangkaian kapasitor paralel

Tiga kapasitor yang disusun seperti gambar 2.11a disebut rangkaian paralel. Kita dapat mengganti tiga kapasitor tersebut dengan sebuah kapasitor pengganti yang memiliki kapasitas C seperti terlihat pada gambar 2.11b. Pada susunan paralel kapasitor berlaku :

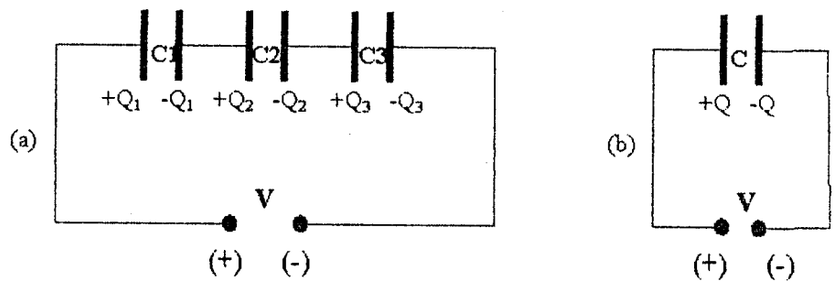
a) Beda potensial tiap-tiap kapasitor sama dan bernilai sama dengan potensial sumber (V = V1 = V2 = V3 = ... Vn)

b) Muatan kapasitor (Q) pengganti sama dengan jumlah muatan tiap-tiap kapasitor (Q = Q1 + Q2 + Q3 + ... Qn)

c) Kapasitas pengganti adalah merupakan jumlah dari kapasitas kapasitor-kapasitor yang dirangkai paralel (C = C1 + C2 + C3 + ... Cn)

2) Kapasitor dengan rangkaian Seri

Tiga kapasitor yang dirangkai seperti gambar 2.12 dinamakan rangkaian seri. Kita dapat mengganti tiga kapasitor itu dengan satu kapasitor pengganti yang memiliki kapasitas C.



Gambar 2.12 Rangkaian seri kapasitor

Pada susunan seri kapasitor berlaku hal-hal sebagai berikut :

a) Muatan pada tiap-tiap kapasitor adalah sama, yaitu sama dengan muatan kapasitor pengganti ($Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \ldots\ldots\ Q_n$)

b) Beda potensial pada ujung-ujung kapasitor pengganti sama dengan jumlah beda potensial ujung-ujung tiap kapasitor

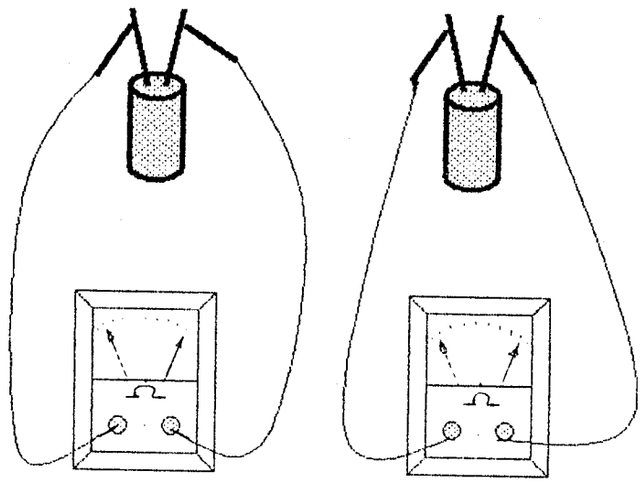
($V = V1 + V2 + V3 + \ldots Vn$)

c) Kapasitas pengganti rangkaian kapasitor seri selalu lebih kecil dari kapasitas yang manapun dari kapasitor pada rangkaian

($1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \ldots\ldots\ 1/C_n$)

d. Pengujian kapasitor

Pengujian kapasitor dapat dilakukan dengan menggunakan ohmmeter seperti gambar 2.13. Lead dari ohmmeter dihubungkan dengan kawat yang terdapat pada kaki kapasitor. Untuk kapasitor yang baik, jarum ohmmeter akan serentak bergerak ke arah skala tahanan rendah (nol) dan kemudian secara perlahan bergerak ke arah tak terhingga.



Gambar 2.13 Pengujian Kapasitor

Perlu diperhatikan bahwa: tahanan insulator kapasitas untuk kertas (paper), mika (mica), dan keramik (ceramic) sebesar 500 – 1000 Megaohm atau lebih dan untuk kapasitor elektrolik sebesar 0,5 Megaohm atau lebih.

Menentukan Kerusakkan :

1) Jarum ohmmeter tidak bergerak samasekali, hal ini menandakan kapasitor telah putus.
2) Jarum ohmmeter bergerak keluar tetapi tidak kembali pada sikap semula dan menunjukkan harga tahanan, hal ini menandakan kapasitor telah bocor.
3) Jarummeter bergerak keluar kemudian bergerak kembali tetapi bergerak kembalinya tidak tidak ke posisi semula, hal ini menandakan kapasitor telah kering (untuk kapasitor elektrolik)
4) Jarum ohmmeter bergerak keluar dan menunjukkan nilai tahanan kurang dari 25 kiloohm, hal ini menandakan kapasitor telah bocor (kapasitor elektrolit)

e. Kerusakkan pada kapasitor

Pada umumnya kapasitor adalah komponen andal yang memberikan

tingkat kegagalah rendah, terutama bila dioperasikan dibawah nilai nominal. Umurnya dapat diperpanjang dengan benar-benar mengoperasikannya pada tegangan nominal dan pada suhu keliling yang rendah.

Karena kapasitor pada dasarnya adalah lembaran logam atau elektroda-elektroda yang dipisahkan oleh dielektrika-dielektrika, kegagalan-kegagalan umum yang mungkin adalah :

a) Hubungan singkat: kerusakan dielektrika (kecuali untuk jenis-jenis yang diberi logam)

b) Rangkaian terbuka : kegagalah sambungan ujung

c) Penyusutan resistansi isolasi secara berangsur-angsur atau kenaikkan arus kebocoran untuk jenis elektrolit.

d) Kenaikkan resistensi seri, yakni kenaikkan dalam faktor disipasi.

Beberapa penyebab kegagalan adalah kerusakkan pembuatan, salah pemakaian dan lingkungan, yang meliputi goncangan-goncangan mekanik, suhu terlalu tinggi, kelembaban. Berikut diperlihatkan kegagalah dalam kapasitor :

Tabel 2.9 Kegagalan pada Kapasitor

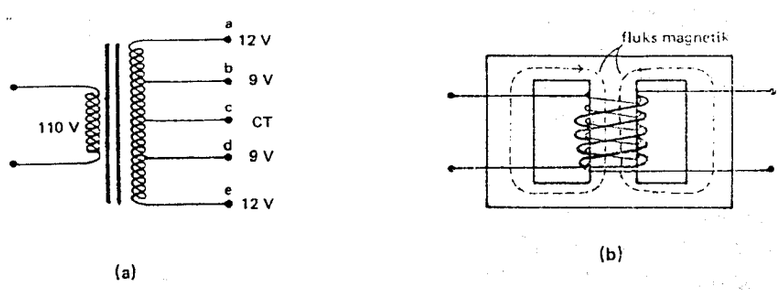
Jenis Kapasitor	**Kegagalan**	**Kemungkinan penyebab**
Lembaran Kertas	a) Rugi-rugi peresap yang menyebabkan hubungan singkat. b) Rangkaian terbuka atau intermittent	a) Segel bocor. Variasi tekanan, guncangan thermal atau mekanik. b) Kerusakan selama perakitan atau guncangan thermal/ mekanik
Keramik	a) Hubungan singkat b) Rangkaian terbuka c) Fluktuasi nilai kapasitansi	a) Dielektrika pecah akibat guncangan atau getaran b) Sambungan retak c) Elektroda perak tidak benar-benar menyatu dengan keramik

Jenis Kapasitor	Kegagalan	Kemungkinan penyebab
Film Plastik	Rangkaian terbuka	Kerusakkan penyemprotan akhir selama pembuatan atau perakitan yang buruk
Elektrolik aluminium	a) Bocor atau hubungan singkat b) Nilai kapasitansi turun c) Rangkaian terbuka	a) Hilangnya dielektrika. Temperatur tinggi b) Hilangnya dielektrika melalui segel yang bocor akibat tekanan, panas ataupun guncangan mekanik. c) Kerusakan sambungan internal
Mika	a) Hubungan singkat b) Rangkaian terbuka atau intermittent	a) Migrasi perak akibat kelembaban yang tinggi b) Perak tidak menyatu dengan mika

Sumber : Ganti Depari, hal.56

3. Transformator

Pada dasarnya transformator merupakan suatu komponen pasif dengan empat ujung. Sepasang ujung disebut primer pasang yang lain disebut sekunder. Berikut dapat dilihat skema dan lambang transformator.



Gambar 2.14 (a) Skema transformator, (b) lambang transformator (Sutrisno, hal.69)

Transformator digunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik pada bagian primer menjadi tegangan bolak-balik yang lebih rendah atau lebih tinggi pada bagian sekunder, dengan menggunakan fluks magnetik. Transformator juga digunakan untuk transformasi atau pengubahan impedansi.

Berdasarkan fungsinya, transformator dapat dibedakan atas :

a. Transformator daya

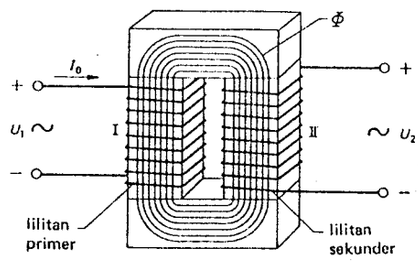
Transformator daya adalah transformator digunakan dalam elektronika untuk menurunkan tegangan bolak-balik atau menaikkan tegangan bolak-balik dari sumber listrik PLN

b. Transformator keluaran

Transformator keluaran adalah transformator yang digunakan untuk menyampaikan isyarat dari penguat daya ke beban, misalnya pada pengeras suara.

c. Transformator rf dan transformator if

Transformator rf dan transformator if adalah transformator yang digunakan pada pesawat radio atau televisi untuk menggandeng masukkan kepada penguat atau dari satu ke penguat lain. Selanjutnya transformator ini dan transformator keluaran digunakan juga untuk pengubahan impedansi. Teras besi pada transformator digunakan untuk membuat agar fluks magnet oleh arus primer pada kumparan primer sebanyak mungkin menembus kumparan sekunder. Dengan demikian perubahan fluks yang disebabkan arus primer akan menyebabkan tegangan gerak listrik induksi (imbas) pada kumparan sekunder. Peristiwa ini ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Prinsip kerja transformator

Menurut hukum induksi Faraday, nilai fluks magnet I berubah dengan waktu, maka akan timbul tegangan gerak listrik.

$$E = N \frac{d\phi}{dt}$$ (Toyota Astra 3, hal. 7-3)

Untuk kumparan primer dengan N1 lilitan :

$$E1 = N1 \frac{d\phi}{dt}$$

dan untuk kumparan sekunder :

$$E2 = N2 \frac{d\phi}{dt}$$

sehingga $d\phi / dt = E1/E2 = N1/N2$ atau $E2 = (N2/N1).E1$

Untuk transformator penurun tegangan N2 < N1, dan jika kita definisikan N1/N2 = n, maka E2 = E1/n Sebagai contoh, jika E1 = 110 volt, tegangan sekunder E2 = 12 volt, maka N1/N2 = n = 110 volt/12 volt = 9. Jadi, jumlah lilitan primer haruslah 9 kali jumlah lilitan sekunder. Misalkan arus yang ditarik dari sumber pada kumparan primer adalah I1,

sedangkan arus yang keluar dari kumparan sekunder adalah I2. Daya yang ditarik dari kumparan sekunder tidak akan lebih besar dari pada daya yang diberikan oleh kumparan primer, oleh karena transformator adalah komponen pasif. Sebetulnya pada transformator banyak terjadi rugi daya yang disebabkan oleh daya joule yang lesap pada konduktor (kumparan) oleh karena arus primer, arus sekunder, ataupun arus pusar pada teras transformator. Untuk mengurangi arus pusar, teras dibuat dari lempeng-lempeng besi yang diisolasi satu dengan yang lainnya. Rugi daya yang lain bersumber dari rugi histeresis yang terjadi pada pemagnetan teras oleh karena arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan primer ataupun kumparan sekunder.

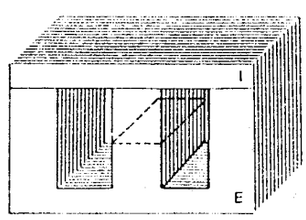
Jika rugi daya diabaikan, daya pada kumparan primer P1 = E1.I1 haruslah sama dengan daya pada kumparan sekunder P2 = E2.I2, atau E1.I1 = E2.I2. Oleh karena : E2 = E1 / n, maka I2 = (E1 / E2) . I1 = n I1

Persamaan diatas menjelaskan bahwa jika tegangan sekunder menjadi n kali lebih kecil, arus yang dapat ditarik dari kumparan sekunder mempunyai n kali lebih besar dari pada arus primer.

Suatu transformator daya biasanya mempunyai lebih dari dua ujung keluaran, seperti yang diperlihatkan pada gambar **2.14**. Suatu ujung yang dihubungkan dengan tempat tertentu pada lilitan sekunder disebut sedapan (tap). Sedapan yang ada ditenganh-tengah kumparan disebut sadapan pusat (center tap), ditulis sebagai CT. Jika diukur terhadap CT maka tegangan sedapan diatas CT berlawanan fase dengan tegangan sadapan yang ada dibawah CT. Pada gambar **2.14**, Vcb (t) dan Vcd (t) mempunyai amplitudo sama akan tetapi berlawanan fase jika diukur dengan voltmeter AC, Vdb akan menunjukkan nilai 18 V. Nilai tegangan

yang tertulis pada trafo adalah nilai rms. Transformator daya dengan CT lebih lawes daripada yang tanpa CT. Suatu transformator daya biasanya dinyatakan dengan tegangan sekunder yang tersedia serta arus sekunder maksimum yang dapat diambil dari kumparan sekunder tanpa menyebabkan jatuh tegangan sekunder oleh arus beban. Suatu transformator daya dengan keluaran 9 V, 3A berarti, jika ditarik arus sekunder 3 A, maka tegangan keluaran tetap bertahan pada 9 Volt. Pada kenyataannya tegangan keluarannya telah jatuh 50 % walaupun baru ditarik arus beban setengah dari arus yang tertulis pada transformator. Biasanya kemampuan arus yang tertulis berlaku untuk tegangan sekunder yang terendah.

Suatu transformator yang berkualitas baik mempunyai tegangan keluaran yang bertahan walaupun dibebani arus yang sesuai dengan spesifikasi. Ini berhubungan erat dengan ipedansi keluaran transformator, yang selanjutnya berhubungan dengan hambatan jenis kawat lilitan dan diameter kawat kumparan yang digunakan. Dalam membuat transformator mula-mula ditentukan berapa besar daya yang ditarik dari kumparan sekunder serta berapa besar tegangan sekunder dan primernya. Dalam prakteknya orang menggunakan teras seperti pada gambar 2.16.



Gambar **2.16** Bentuk Teras Transformator
(Sutrisno, hal.69)

Kemampuan daya trafo menentukan luas penampang teras A, yaitu menurut hubungan $A = 1{,}25 \times P^{1/2}$ cm^2 Dimana, P = Daya, dalam satuan watt. Jumlah lilitan primer dan sekunder ditentukan dari hubungan:

$$N1/E1 = N2/E2 = N/V = (\sqrt{2} \times 10^8) / (2\pi f B_{maks} . A)$$

(Toyota Astra 3, hal.7-3)

Dimana, f = frekwensi
A = Luas penampang teras
B_{maks} = Induksi magnet maksimum yang disebabkan oleh arus primer dan sekunder (dalam Gauss).

Untuk suatu kumparan dengan N lilitan yang melingkupi fluks magnetik berlaku hukum Faraday $E = N . (d\phi/dt)$. Jika rapat fluks B berubah secara sinusoida, $B = Bp \cos \omega t$, maka $\phi(t) = Bp . A \cos \omega t$, sehingga $Ep = N (d\phi/dt) = N Bp A \omega$, dengan Bp adalah rapat fluks magnet weber/m^2 = 10.0000 gauss dan A dalam m^2.

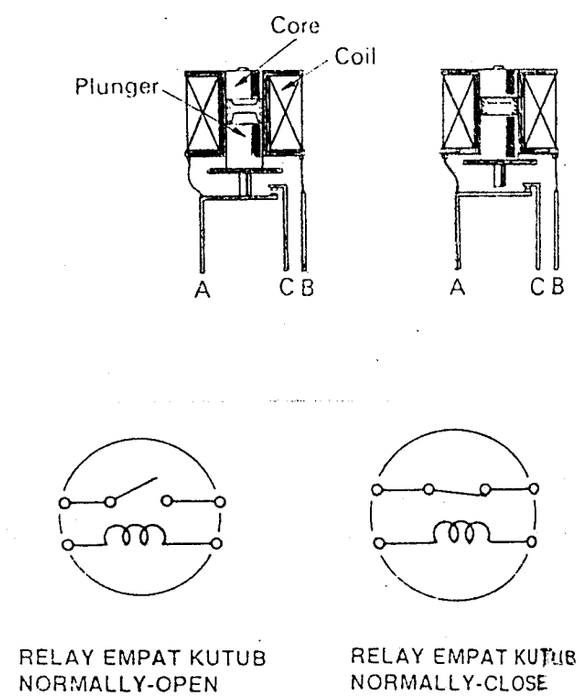
Jika rapat fluks B dinyatakan dalam gauss dan A dalam cm^2, maka :$Erms = Ep / \sqrt{2} = [(N.Bp (gauss)) \times (0{,}0001 A (cm^2)) \times (0{,}0001.2.\pi f)] / \sqrt{2} = N.2.\pi.f.Bp \times 10^{-8} / \sqrt{2}$, $N/E_{rms} = [(\sqrt{2} \times 10^8) / (2.\pi.f.Bp.A)]$. Jika kita menggunakan frekwensi f = 50 Hz. Bp = 9000 gauss, maka lilitan/volt $N/E = 50/A (cm^2)$.

4. Relay

Relay adalah peralatan listrik yang membuka dan menutup sirkuit kelistrikan berdasarkan penerima signal tegangan. Relai digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik dari sumber arus ke beban. Relay dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yaitu relay elektromagnetik dan

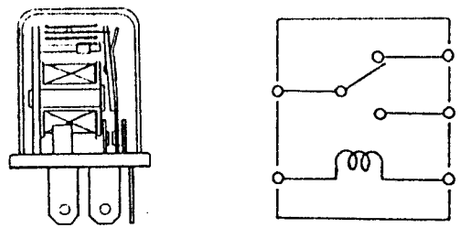
relay elektronik (transistor). Khusus untuk relay elektronik, akan diuraikan nantinya pada bahasan komponen aktif transistor.

Pada gambar dibawah ini dapat dilihat sebuah konstruksi relay elektromagnetik. Bila arus listrik mengalir diantara titik A dan B maka kumparan (koil) akan menimbulkan daya kemagnetan disekelilingnya. Akibatnya plunger tertarik keatas dan menghubungkan titik kontak sehingga arus listrik dapat mengalir dari A ke C. Tipe relay elektromagnetik ini disebut tipe plunger tiga kutub dengan normally-open (dalam keadaan normal kontaknya terbuka)



Gambar 2.17 Kontsruksi relay elektromagnetik
(Toyota Astra 3, hal.6-46)

Tipe lain dari relay elektromagnetik disebut relay tipe engsel yang mempunyai armature yang bergerak antara dua titik kontak oleh daya magnet dan pegas.



Gambar 2.18 Relay tipe engsel (Toyota Astra, hal. 6-47)

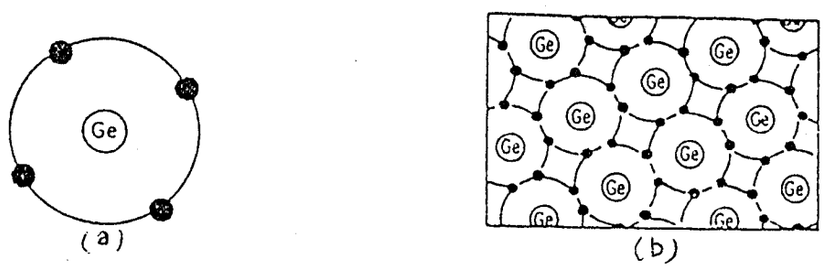
B. Komponen Aktif

1. Pendahuluan

Semikonduktor adalah merupakan zat yang mempunyai sifat kelistrikan di antara isolator dan konduktor. Mempunyai tahanan jenis antara 0,000001 sampai 10000 ohmmeter. Mekanisme mengalirnya arus listrik dalam zat semikonduktor tidak dapat dijelaskan seluruhnya dengan proses yang telah diketahui mengenai mengalirnya muatan dalam zat. Dengan perkataan lain semikonduktor bukan hanya konduktor yang kurang dapat mengalirkan arus listrik atau isolator yang dapat mengal;irkan sebagian muatan listrik. Contoh zat semikonduktor yang banyak dipakai dalam bidang elektronika yaitu germanium dan silikon. Semikonduktor ini dapat menjadi konduktor atau isolator, tergantung bagaimana material ini digunakan.

Pada gambar 2.19 diperlihatkan semikonduktor atom germanium (Ge). Atom germanium ini mempunyai 4 elektron pada ring orbit terjauh. Atom-atom ini dapat bersatu dengan sendirinya dengan atom-atom pada elemen lainnya ke

bentuk salah satu konduktor atau isolator. Sebagai contoh, jika atom-atom germanium bersatu dengan satu sama lainnya seperti terlihat pada gambar 2.19, ini berarti ring orbit terluar seluruh atom terisi dengan 8 elektron. Akibatnya tidak ada elektron yang dapat bergerak bebas, sehingga material atom germanium menjadi isolator.



Gambar 2. 19 (a) Atom germanium dengan 4 elektron ,
(b) Gabungan atom-atom germanium yang menjadi isolator. (Toyota Astra 2, hal.4-11)

Material semikonduktor misalnya atom Ge atau Silikon (Si) daya hantarnya (conductivity) dapat bertambah dengan penambahan elemen yang tidak murni (doping) ke dalam atyom Ge atau Si. Elemen yang digunakan untuk doping ini mempunyai valensi 5 atau 3.

Semikonduktor yang mempunyai kelebihan elektron disebut semikonduktor tipe N dan semikonduktor yang mempunyai kekurangan elektron disebut semikonduktor tipe P. Daftar elemen doping tersebut dapat dilihat pada tabel2.10berikut ini :

Tabel 2.10 Elemen Doping Bahan Semikonduktor

No	Elemen	Simbol	Nomor Atom	Valensi Elektron
1	Antimony	Sb	51	5
2	Arsenit	As	33	5
3	Phospos	P	15	5
4	Germanium	Ge	32	4
5	Silicon	Si	14	4
6	Aluminim	Al	13	3
7	Boron	B	5	3
8	Gallium	Ga	31	3
9	Indium	In	49	3

Sumber : Toyota Astra 2, hal.4.11

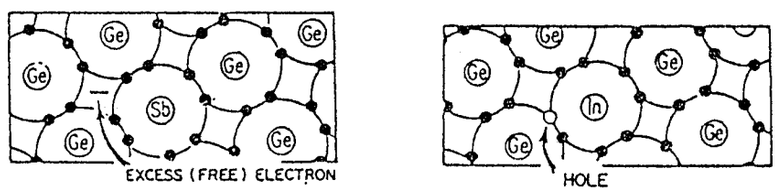
a. Muatan elektron bebas pada semikonduktor tipe N

Elemen doping seperti As, Sb, dan P mempunyai valensi elektron 5, dimana untuk setiap atomnya terdapat 5 elektron pada ring orbit terjauh. Pada ikatan kovalen dengan Ge dan Si yang mempunyai valensi elektron 4 seperti terlihat pada gambar 2.19 dimana terali kristal atom-atom germanium dengan satu elemen doping As; 4 dari 5 valensi elektron pada elemen doping menjadi satu pada struktur ikatan kovalen, akan tetapi satu yang tidak berpasangan dapat dianggap sebagai muatan bebas. Karena dalam bentuk ikatan kovalen ini atom As valensi 5 kelebihan elektronnya dapat dibebaskan, maka atom ini disebut atom donor. Karena terbentuknya elektron bebas, maka semikonduktor yang dihasilkan dengan penambahan atom donor ini disebut semikonduktor tipe N. Dengan adanya saatu elektron valensi bebas, maka atom donor menjadi ion positif yang terikat bebas.

b. Free Hole pada semikonduktor tipe P

Elemen doping yang digunakan seperti Al, B, dan Ga mempunyai

valensi 3, dan untuk setiap atomnya mempunyai 3 elektron pada ring orbit terjauhnya. Dengan menggunakan doping valensi 3, misalnya Ga (gallium) ke dalam atom Ge atau Si yang mempunyai valensi 4, maka atom Ga ini kekurangan 1 elektron untuk membentuk ikatan-ikatan kovalen dan atom ini disebut atom akseptor. Karena tenaga elektron atom akseptor sedikit lebih besar dibandingkan dengan tingkat tenaga valensi elektron atom Ge, maka dengan menambah tenaga (tegangan) sedikit saja kepada elektron atom Ge, elektron ini dapat meloncat dari ikatan kovalennya dan mengisi kekurangan pada atom akseptor disertai pembentukkan muatan lobang bebas (free hole charge), seperti terlihat pada gambar 2. 20.



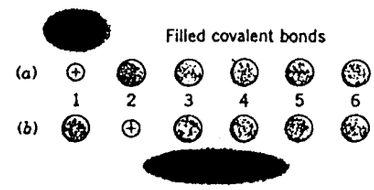
Free elektron Free hole

Gambar 2. 20 Free elektron dan Free hole
(Toyota Astra 2, hal.4-12)

Dengan adanya penambahan 1 elektron, maka atom akseptor menjadi ion negatif yang terikat ditempat. Jadi dengan aton akseptor dihasilkan hole tanpa disertai elektron bebas, sehingga semikonduktor ini adalah tipe P. Untuk semikonduktor tipe P ini lobang merupakan pengangkut mayoritas dan elektron merupakan pengangkut minoritas.

c. Arus hole

Arus hole (hole current)dapat terbentuk dengan adanya pergerakkan muatan hole (hole charge) seperti terlihat pada gambar 2. 21 dibawah ini.



Gambar 2.21 Arus hole (Toyota Astra 2, hal.4-12)

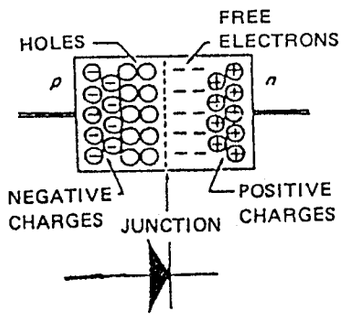
Pada baris a, muatan lobang pada butir 1 dan valensi elektron dari isian ikatan pada butir 2 bergerak kebutir 1, seperti terlihat pada baris b. Ikatan pada butir 1 terisi daripada butir 2 menjadi lobang. Sama halnya elektron dapat bergerak dari butir 3 ke butir 2 untuk mengisi butir 2. Pada baris ini, pembentukan arus hole, muatan hole bergerak dari butir 1 sampai butir 6 sedangkan elektron bergerak dari butir 6 sampai butir 1.

Untuk membentuk arus lobang ini, tegangan dapat digunakan pada semikonduktor seperti terlihat pada gambar 2.21. Pada gambar 2.21 ini arah arus lobang sama dengan arus listrik biasa dan arah elektron berlawanan dengan arah arus lobang, tetapi dapat menggerakkan meter indikator kearah yang sama.

2. Komponen-Komponen Aktif

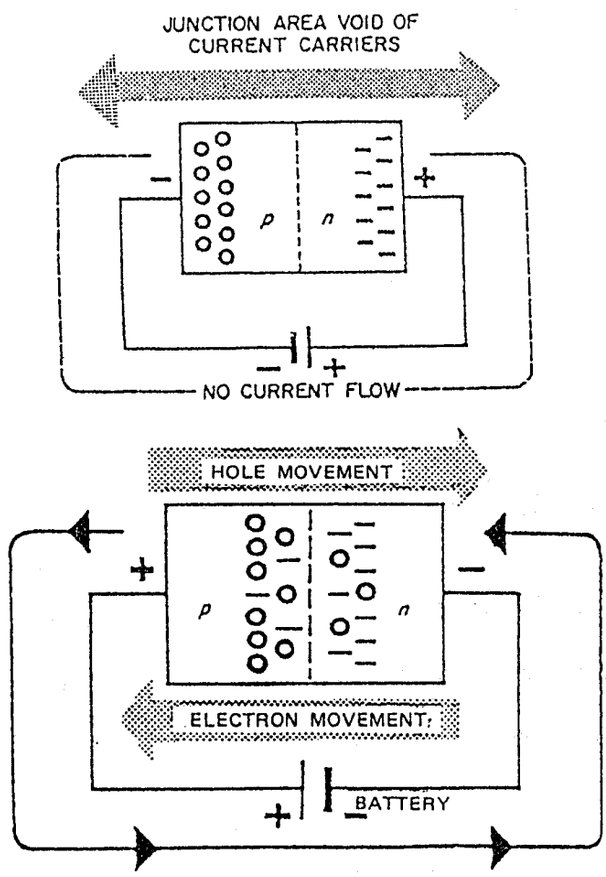
a. Dioda

Bila semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N digabungkan, maka gabungan ini disebut sambungan PN (Junction PN) atau disebut junction diode seperti terlihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Sambungan PN (PN Junction)
dan simbol dioda (Kamajaya, hal.186)

Dioda ini adalah katup satu arah (one-way valve) untuk elektron atau arus listrik, dengan demikian arus listrik dapat mengalir melalui dioda pada satu arah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.23 berikut.



Gambar 2.23 Proses pengaliran arus listrik pada dioda
(Kamajaya, hal. 186)

Elektron bebas dari terminal negatif masuk ke material Ge tipe N dan bergerak kearah PN Junction. Hole pada material Ge tipe P ditolak oleh terminal positif baterei kearah PN Junction, sehingga terjadi penggabungan free electron dan hole. Perubahan arus yang hilang pada penggabungan diganti dengan perubahan arus baru yang dihasilkan dari perpisahan sepasang electron hole. Free electron yang terbentuk pada material Ge tipe P tertarik ke terminal positif dan mengalir pada rangkaian luar (external circuit).

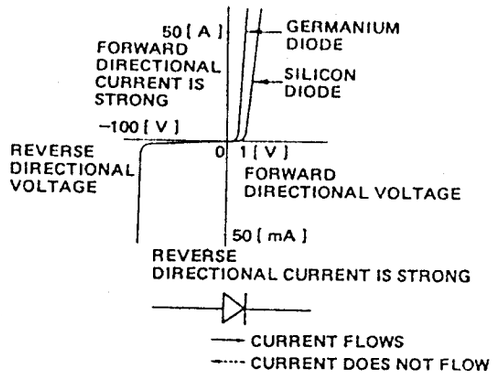
Proses pengaliran arus akan tetap berlangsung selama masih ada perbedaan tegangan diantara kedua terminal dioda tersebut. Dan jika tegangan batere ditambah, aliran arus didalam dioda juga bertambah. Penghubungan terminal negatif batere dengan dengan material Ge tipe N dan terminal positif batere dengan material Ge tipe P mengakibatkan arus mengalir karena dioda mempunyai tahanan maju yang kecil (low-foward resintance) dan ini biasa disebut foward bias. Pada keadaan yang demikian semikonduktor mempunyai sifat sebagai konduktor.

Sebaliknya jika pemasangan terminal batere dipertukarkan (reverse bias) dari cara pemasangan diatas, maka terminal positif akan menarik elektron bebas daari material Ge tipe N dan terminaal negatif akan menarik elektron bebas dari material Ge tipe P. Pada hubungan reverse bias ini akan menghasilkan tahanan balik yang tinggi (high-reverse resistance) dari dioda, semikonduktor ini menjadi non konduktor sehingga arus listrik tidak dapat mengalir.

Karakteristik dioda

Seperti telah diuraikan sebelumnya, dioda mempunyai sifat hanya

dapat mengalirkan elektron atau arus listrik pada satu arah dan tidak dapat mengalir pada arah yang berlawanan namun kenyataannya terdapat sedikit pengaliran arus balik.



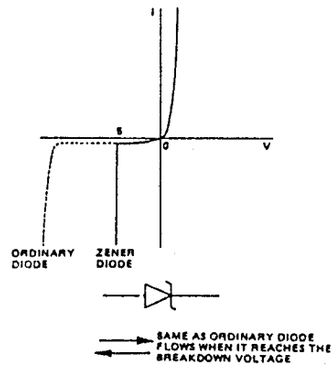
Gambar 2.24 Karakteristik diode (GC.Loveday, hal.73)

b. Zener Dioda

Zener dioda adalah tipe dioda yang spesial, yang mana arus listrik dapat mengalir pada arah kebalikan (reverse) jika tegangan yang digunakan telah cukup. Dioda menolak aliran arus pada arah kebalikan selama tegangan balik (reversing voltaage) tetap rendah. Tetapi jika tegangan mendekati batas breakdown, zener dioda akan dialiri arus pada arah kebalikan. Dengan kata lain tahan zener dioda breakdown mendekati nol dan arus balik (reverse current) dapat mengalir.

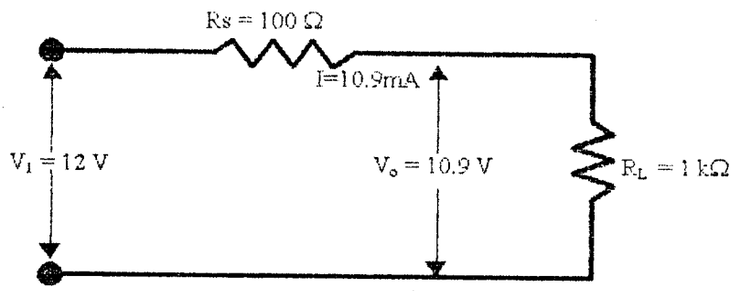
Pada gambar 2.25 diperlihatkan karakteristik dioda zener dan simbolnya. Apabila arah arus ke depan, dioda zener ini mempunyai karakteristik yang sama dengan dioda-dioda yang umum, tetapi karakteristik

lainnya ialah arus akan mengalir ke dioda zener secara tiba-tiba dari suatu tegagan balik tertentu apabila tegangan digunakan pada araah berlawanan. Tegangan kerja pada saat itu disebut tegangan breakdown yang besarnya antara beberapa volt sampai beberapa ratus volt.



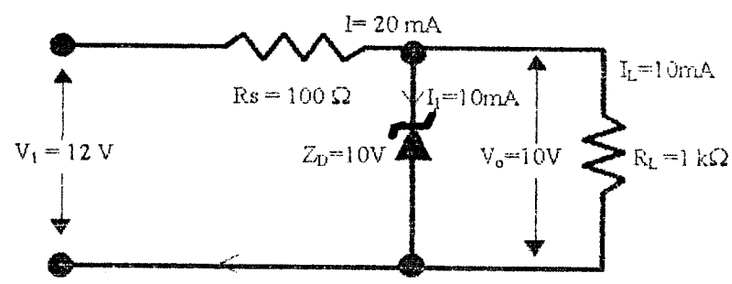
Gambar 2.25 Karakteristik dan simbol dioda zener
(Toyota Astra 2, hal.4-17)

Berikut dapat diperhatikan penggunaan dioda zener pada rangkaian tegangan konstant (Constant voltage circuit) Sirkuit tegangan konstan bekerja untuk mempertahankan output voltage pada tingkat konstan meskipun terdapat beberapa variasi pada input voltage atau beban.Apabila sumber tegangan tidak konstan dipasang untuk sirkuit transistor, titik operasi/kerja transistor akan berubah dan juga akan terdapat fluktuasi arus sirkuit yang mana akan mengakibatkan kesalahan pada sirkuit yang diukur. Disinilah alasannya diperlukan sirkuit tegangan konstan. Sekarang perhatikanlah gambar-gambar berikut satu persatu.



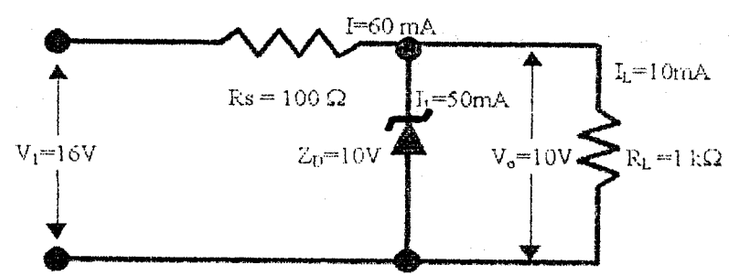
Gambar **2.26** Tegangan beban (Vo)) adalah 10,9 volt

Bila sebuah dioda zener dipasang seperti gambar berikut, tegangan terminal pada titik tersebut diatas adalah 10 volt



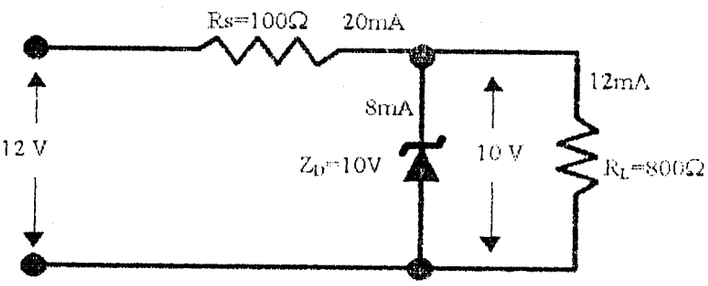
Gambar **2.27** Rangkaian dioda zener

Bila tegangan input (V1) dirubah menjadi 16 volt, arus I yang mengalir akan berubah, tetapi tegangan terminal pada titik tetap 10 volt.



Gambar **2.28** Rangkaian dioda zener

Bila tahanan beban atau load resistance (RL) diubah menjadi 800 ohm, arus i1 yang mengalir akan berubah, tetapi tegangan terminal pada titik beban akan tetap pada 10 volt.



Gambar 2.29 Rangkaian dioda zener

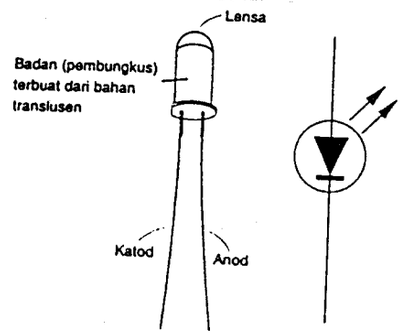
Dengan demikian, dapat diketahui bahwa setiap perubahan pada tegangan input (V1) atau beban tahanan (RL), arus i berubah secara lurus sedangkan tegangan pada titik dipertahankan pada tingakat yang konstan. Karena itu , tegangan output power (titik a) tidak akan selalu dipertahankan tetap tanpa menghirankan penambahan tegangan input atau bertambahnya resistance, tetapi akan berfungsi sebagai sirkuit tegangan konstan hanya pada tingkat tertentu. Salah satu penggunaan dioda zener adalah pada elektronik regulator untuk mengatur tegangan output alternator pada mobil.

c. Dioda Pemancar Cahaya

Dioda pemancar cahaya lebih dikenal dengan nama singkatan LED (light emitting diode). Dioda ini memancarkan cahaya bila kepadanya diberi tegangan maju.

Azas kerjanya sama dengan azas kerja dioda sambungan untuk penyearah. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah suatu senyawa yang bernama galium arsenida fosfida. Jenis cahaya yang dipancarkannya

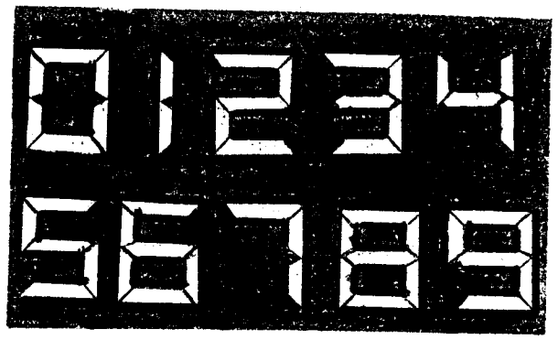
bergantung kepada susunan senyawa itu. Warna-warna yang dapat dipancarkannya ialah merah, hijau dan kuning. Salah satu bentuknya adalah seperti gambar berikut.



Gambar 2.30 Dioda pemancar cahaya
(Budikase, hal.233)

Timbulnya cahaya adalah sebagai akibat penggabungan elektron dan lobang pada persambungan antara dua semikonduktor. Tiap penggabungan disertai pelepasan suatu kuantum energi. Pada semikonduktor silikon atau germanium, kuantum energi ini adalah berupa kalor. Agar cahaya dapat keluar dari persambungan, maka persambungan itu dibuat sangat dekat dengan permukaan semikonduktor.

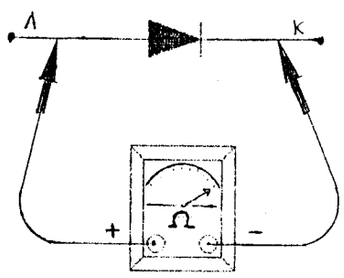
Dioda pemancar cahaya banyak digunakan sebagai lampu indikator dan sebagai penampilan angka atau huruf dalam bentuk tujuh segmen, seperti yang banyak digunakan pada banyak alat ukur dan jam elektronik. Angka-angka dinyatakan dengan tujuh segmen seperti gambar 2.31. Masing-masing segmen merupakan satu dioda pemancar cahaya, dengan hanya satu katoda yang digunakan bersama oleh ketujuh anoda.



Gambar **2.31** Angka-angka yang ditampilkan dalam bentuk tujuh segmen (Ganti Depari, hal.110)

Pemeriksaan Dioda

Untuk memeriksa baik atau tidaknya suatu dioda dapat dilakukan dengan menggunakan ohmmeter, seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

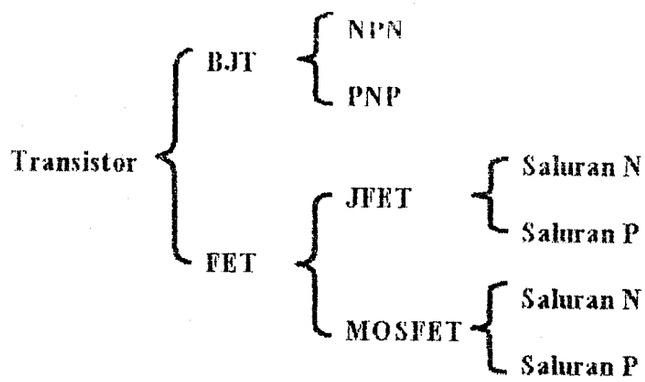


Gambar **2.32** Pengetesan dioda

Lead positif ohmmeter dihubungkan dengan anoda dan lead negatif ohmmeter dihubungkan dengan katoda. Pada posisi demikian jarum ohmmeter akan bergerak ke posisi tahanan rendah (0), ini menunjukkan dioda masih baik, tetapi bila jarum ohmmeter tidak bergerak ini menandakan dioda telah putus. Bila penghubngan lead dibalik dimana lead posistif dihubungan pada katoda dan lead negatif dihubungan dengan anoda, jarum ohmmeter tidak bergerak, ini menandakan dioda masih baik. Tetapi jika jarum ohmmeter bergerak, ini menandakan dioda telah rusak.

d. Transistor

Transistor berasal dari kata Transfer-resistor, yang berarti perpidahan atau perubahan tahanan. Transistor dapat dibagai sebagai berikut :

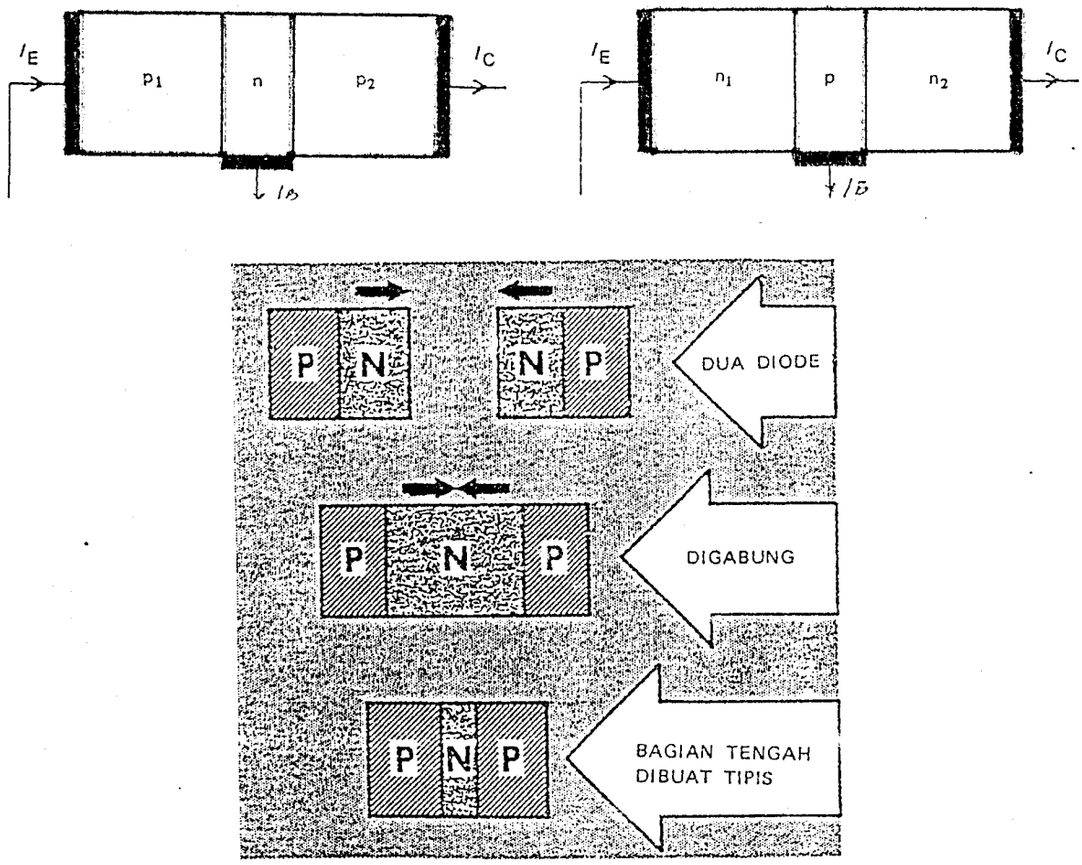


<u>Keterangan</u>

BJT	= Bipolar Junction Transistor
FET	= Field Effect Transistor
NPN	= Negatif-Positif-Negatif
PNP	= Positif-Negatif-Positif
JFET	= Junction Field Effect Transistor
MOSFET	= Metal Oxile Semiconductor Field Effect Transistor

Gambar **2.33** Pembagian Transistor
(Toyota Astra 2, hal.4-20)

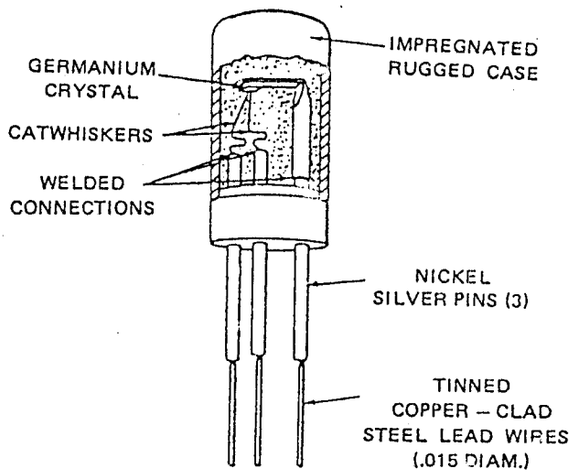
Dalam buku ini hanya akan dibahas tipe BJT, yang selanjutnya disebut transistor (Tr). Transistor ini dibuat dari kristal silicon atau germanium dimana suatu lapisan Si tipe N diapit oleh dua lapisan Si tipe P (untuk jenis PNP), sebaliknya bisa juga dibuat transistor yang terdiri dari dua lapisan Si tipe N yang mengapit satu lapisan Si tipe P (untuk jenis NPN). Transistor dapat juga dipandang sebagai dua sambungan PN (dioda yang disambungkan), seperti pada gambar **2.34**

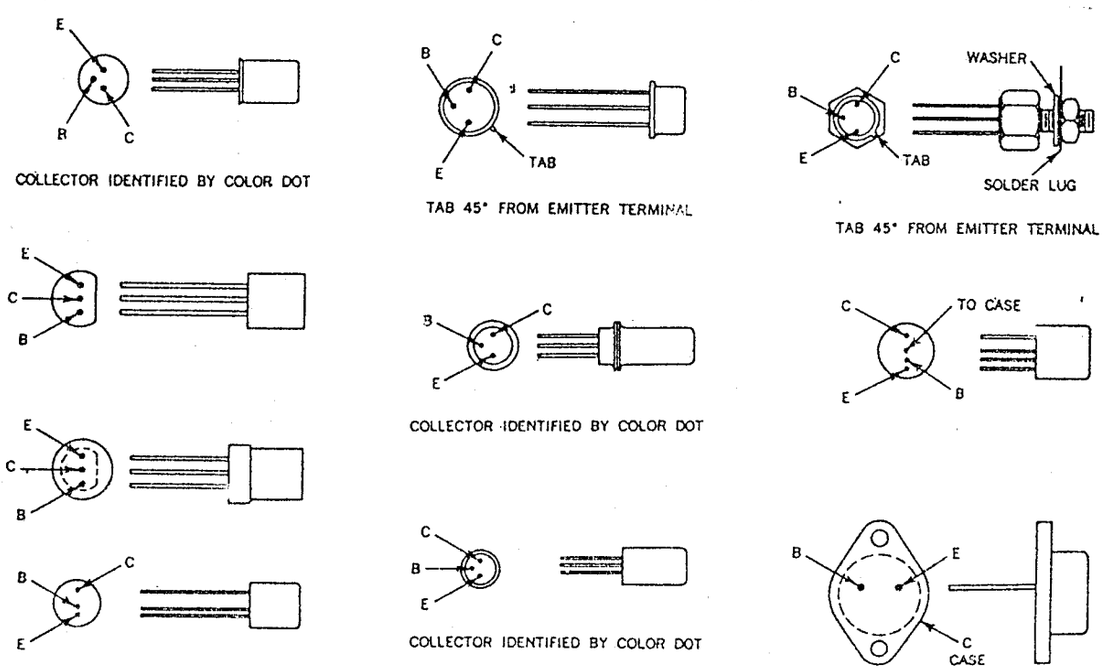


Gambar **2.34** Transistor jenis PNP dan PNP

Semikonduktor yang diapit disebut basis (B), dan semikonduktor yang mengapit disebut emiter (ER) dan colektor (C).

Transistor adalah pengembangan daripada dioda semikonduktor. Seperti terlihat pada gambar sebelumnya, transistor PNP ini terbentuk dari lapisan tipis Silicon yang diapit oleh lapisan yang lebih besar dari tipe P silicon. Lapisaan tipe P sebelah kiri disebut Emitter (E), lapisan N pada bagian tengah disebut Base (B), dan lapisan tipe P bagian kanan disebut Collector (C).



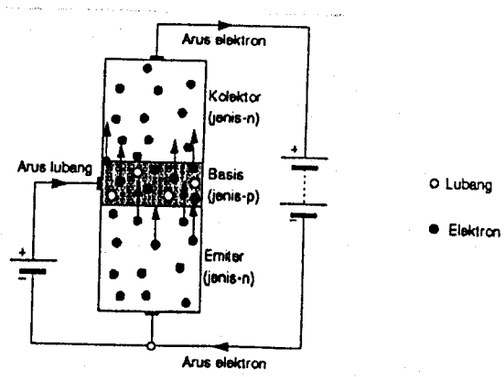


Gambar **2.35** Konstruksi bagian dalam transistor dan susunan soket transistor (Toyota Astra 2, hal.4-21)

1) Azas kerja transistor

Salah satu sifat terpenting transistor ialah kemampuannya "menguatkan" suatu perubahan. Perubahan ini pada dasarnya adalah perubahan kuat arus. Yang dimaksud dengan "menguatkan" disini adalah perubahan kecil arus disuatu cabang rangkaian menyebabkan perubahan besar pada cabang lain rangkaian itu. Misalnya di suatu cabang arus berubah dari 0.5 mA menjadi 1.0 mA (perubahan sebesar 0.5 mA atau 500 mA), dicabang lain arus dapat berubah dari 1,0mA menjadi 1,5 mA atau terjadi perubahan kira-kira 1000 kali pada rangkaian pertama.

Untuk memperoleh penguatan seperti itu, transistor dapat dirangkai dalam beberapa cara. Satu diantaranya yang termasuk paling sering digunakan ialah rangkaian transistor yang disebut rangkaian emiter bersama. Rangkaian ini secara bagan kasar digambarkan pada gambar **2.36** Pada rangkaian seperti itu, emiter dihubungkan dengan kedua terminal yang lain dari transistor, yaitu dengan dengan kolektor dan dengan basis, sehingga ada rangkaian tertutup emiter dan basis. Perhatikan bahwa emiter dan basis dipanjar maju dengan menggunakan sumber tegangan tersendiri. Sumber tegangan untuk memberi panjaran tersebut disebut sumber tegangan pemanjar.



Gambar **2.36** Transistor NPN dirangkai dalam rangkaian emiter bersama (J.M.Calvert, hal.80)

Telah diketahui sebelumnya bahwa pada semikonduktor jenis P, pembawa muatan mayoritas adalah lubang (yang dapat dianggap sebagai muatan positif), dan pada semikonduktor jenis N, pembawa mayoritas adalah elektron (yang bermuatan negatif). Di atas telah diuraikan bahwa pada rangkaian emiter bersama basis harus dipanjar maju terhadap emiter.

Di antara sambungan semikonduktor jenis P dan jenis N terdapat tegangan sambungan. Untuk silikon, tegangan sambungan itu besarnya di sekitar 0,6 volt. Pada rangkaian transistor diatas , jika tegangan panjar maju kurang dari 0,6 volt boleh dikatakan tidak ada arus yang dapat mengalir melalui sambungan basis-emiter. Jika tegangan panjar maju yang diberikan lebih dari 0,6 volt atau mengkin diatas 1,4 volt, elektron dari emiter (semikonduktor jenis N) mengalir ke basis. Kehilangan elektron pada pada emiter ini diisi oleh elektron dari rangkaian diluar emiter. Akan tetapi karena tingkat pengotoran basis lebih kecil daripada tingkat pengotoran emiter, jumlah lubang lebih sedikit daripada jumlah elektron. Jadi pembawa mayoritas muatan di dalam transistor NPN adalah elektron-elektron.

Sedikitnya lubang di dalam basis dan tipisnya basis (hanya kira-kira 10^{-6}m) menyebabkan sebagian besar elektron dapat menyeberangan sambungan antara basis dan kolektor, sebab kolektor memiliki tegangan positif terhadap basis. Hanya sedikit saja elektron yang dapat bergabung dengan lubang yang datang dari rangkaian diluar basis. Karena itu sebagian besar arus elektron mengalir mengalir melalui kolektor. Aliran elektron ini disebut arus kolektor (Ic). Aliran elektron yang yang masuk ke emiter disebut arus emiter (Ie). Aliran lubang dari rangkaian diluar basis

disebut arus basis (Ib). Arus basis ini sangat kecil jika dibandingkan dengan arus kolektor dan arus emiter. Akan tetapi arus basis yang sangat kecil ini mengatur besarnya arus arus kolektor dan arus emiter. Perubahan yang kecil pada arus basis dapat menimbulkan perubahan besar pada arus kolektor (dan arus emiter).

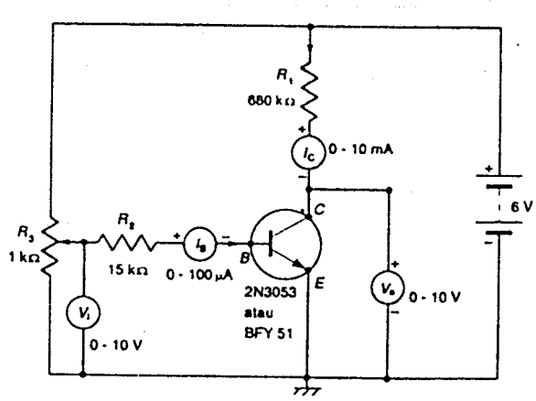
Penjelasan yang diuraikan diatas ialah penjelasan untuk transistor NPN. Penjelasan untuk transistor PNP juga berlaku seperti itu. Perbedaannya hanya pada pembawa mayoritas. Pada transistor PNP pembawa mayoritas adalah lubang.

Beberapa Penggunaan Transistor

1) Transistor sebagai saklar

Transistor dapat berfungsi sebagai saklar elektronik. Banyak alat-alat elektronik yang menggunakan saklar elektronik, terutama peralatan elektronik yang termasuk dalam perlatan "digital" seperti alat-alat pengendali dan komputer.

Azas kerja saklar elektronik dengan menggunakan transistor adalah arus basis yang kecil mengatur arus kolektor yang besar, seperti yang diuraikan sebelumnya. Perhatikan gambar 2.37 berikut.



Gambar 2.37 Rangkaian saklar elektronik
(Kamajaya, hal.193)

Jika tegangan Vi kurang dari 0,6 volt, maka tegangan keluaran Vo besar. Hampir seluruh tegangan sumber yang besarnya 6 volt ada diantara kolektor dan emiter sehingga R1 tidak mendapat tegangan. Ini disebabkan transistor pada keadaan ini bersifat menghambat (cut off) atau terputus atau mati.

Akan tetapi pada Vi berada diatas 0,6 volt, atau mungkin diatas 1,4 volt, tegangan Vo menjadi kecil sekali, sehingga hampir seluruh tegangan sumber yang besarnya 6 volt ada pada ujung-ujung R1. Ini berarti transistor pada keadaan menghantar (on) atau jalan atau hidup.

Dua keadaan ini merupakan keadaan transistor sebagai saklar. Pada saat Vi berada kira-kira dibawah 0,6 volt, transistor bersifat sebagai saklar terbuka, dan pada kira-kira diatas 1,4 volt, transistor berfungsi sebagai saklar yang tertutup.. Jadi untuk menjalankan saklar ini diperlukan dua tegangan , yaitu kira-kira 0,6 volt untuk memutuskan saklar dan di sekitar 1,4 volt untuk menghubungkan saklar. Pemutusan dan pengubungan dengan cara ini dapat berlangsung dengan sangat cepat dapi pada yang dapat dilakukan oleh saklar mekanis.

2) Transistor sebagai penguat

Penguat dalam elektronika adalah rangkaian yang dapat memperbesar perubahan. Perubahan itu dapat berupa arus dan dapat pula tegangan. Salah satu ciri atau sifat yang digunakan untuk menilai suatu transistor ialah yang disebut penguatan atau peroleh arus searah transistor itu, yang dilambangkan dengan lambang h_{FE} dan didefinisikan sebagai :

$$\mathbf{h_{FE} = Ic / Ib}$$ Budikase, hal.237

Umpamakan untuk suatu transistor Ic = 4,50 mA dan Ib = 0,05 mA, peroleh penguatan arus searah transistor itu adalah :

h_{FE} = 4,50mA / 0,05 mA = 90.

Huruf F pada lambang h_{FE} berasal dari kata Inggris "forward biased" yang berarti dipanjar maju, sedangkan huruf E berasal dari kata "emiter". Indeks FE pada h_{FE} menunjukkan bahwa perolehan arus yang dimaksud adalah peroleh pada rangkaian emiter bersama yang dipanjar maju.. Sesungguhnya masih ada lagi dua jenis rangkaian transistor, yaitu yang disebut "rangkaian basis bersama" dan rangkaian kolektor bersama". Akan tetapi kedua jenis rangkaian tersebut agak jarang digunakan, dan tidak akan dibahas pada buku ini.

Disamping penguatan arus, transistor juga dapat berfungsi sebagai penguat tegangan. Pada penguat tegangan, perubahan tegangan yang kecil antara dua titik pada suatu rangkain penguat itu akan menimbulkan perubahan tegangan yang besar antara dua titik pada bagian lain rangkaian tersebut.. Perubahan tegangan itu pada umumnya berupa perubahan bolak-balik.

Tegangan yang hendak diperkuat, yang di masukkan ke rangkaian penguat disebut tegangan masukan atau disingkat masukan (Vi). Tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian penguat disebut tegangan keluaranan (Vo). Hasil bagi antara tegangan keluaran dengan tegangan masukan disebut perolehan atau penguatan tegngan (A) untuk penguat dimaksud

$$A = Vo / Vi$$ Budikase, hal.241

Untuk mendapatkan penguatan tegangan, arus yang mengalir pada transistor harus diubah menjadi tegangan. Untuk itu arus dilewatkan melalui sebuah penghambat. Penghambat ini diletakkan pada kolektor, dan biasa disebut penghambat beban Rl.

Pengetesan Transistor dengan Ohmmeter

1) Menentukan basis dan tipe transistor

Cara melakukan pengukuran adalah sebagai berikut :

a) Posisikan saklar ohmmeter pada kali satu (x 1) ohm

b) Cari kaki-kaki transistor yang mengakibatkan jarum ohmmeter menyimpang / menunjukkan nilai tahanan kira-kira sama besarnya

c) Jika terminal ohmmeter yang tetap pada salah satu kaki transistor tersebut berwarna merah, maka transistor tersebut adalah jenis PNP

d) Jika terminal ohmmeter yang tetap pada salah satu kaki transistor tersebut berwarna hitam, maka transistor tersebut adalah jenis NPN

e) Kaki transistor (NPN atau PNP) tempat menempelnya terminal ohmmeter yang tetap adalah merupakan basis dari transistor tersebut.

2) Menentukan kolektor dan emitor

Cara melakukan pengukurannya adalah sebagai berikut :

a) Posisikan saklar ohmmeter pada kali satu (x 1) kiloohm

b) Dari dua kaki transistor yang tersisa harus diasumsikan, salah satu kakinya adalah kolektor

c) Basis-kolektor diberikan bias (tahanan), tahanan ini dapat disimulasikan dengan menempelkan jari ke basis dan kolektor

d) Kolektor harus mendapatkan probe yang tetap (sesuai dengan basis)

e) Jika pada kondisi demikian jarum ohmmeter menyimpang / bergerak kekanan berarti asumsi kolektor benar.

f) Jika pada saat tersebut jarum ohmmeter tidak menyimpang / bergerak (menyimpang sedikit), maka asumsi kolektor salah, berarti yang diasumsi kolektor seharus emitor.

3) Pengujian Transistor

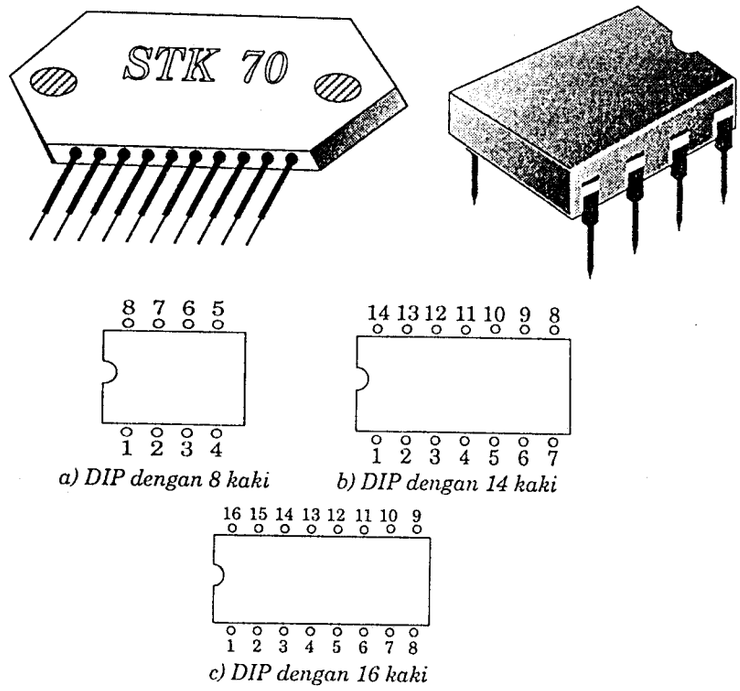
Jika diperhatikan sebuah transistor itu tidak lain berupa dua buah dioda. Jika sebuah ohmmeter akan dipergunakan untuk pengetesan transistor, maka cara pengetesanya sama dengan pengetesan dioda. Perlu diperhatikan bahwa terminal lead merah ohmmeter juga merupakan kutup posisitif batere yang terdapat didalam. Jika seandainya ohmmeter yang digunakan tidak seperti demikian, maka pengukurannya transistor yang dilakukan adalah kebalikan dari apa yang akan dijelaskan berikut ini.

Mula-mula akan diperiksa hubungan antara emiter dan basis. Terminal positif (+) ohmmeter dihubungkan dengan kaki emitor dan terminal negatifnya dihubungkan dengan basis. Pada posisi demikian, jarum ohmmeter akan menunjukkan harga yang rendah, karena emitor-basis mendapat catu tegangan maju. Hubungan ini lalu dipertukarkan, yaitu terminal + ohmmeter dihubungkan dengan terminal basis dan terminal dengan emitor. Pada posisi ini jarum ohmmeter akan menunjukkan harga yang cukup tinggi, karena emitor-basis sekarang mendapatkan catu tegangan mundur. Jadi ketika dilakukan pemeriksaan, ohmmeter menunjukkan nilai-nilai rendah pada mulanya, kemudian setelah hubungannya dipertukarkan, jarum ohmmeter akan menunjukkan

nilai tahann yang tinggi. Dengan hasil yang demikian berarti hubungan emitor-basis transistor masih baik.

Kemudian untuk melakukan pengetesan hubungan kolektor–basis dapat dilakukan dengan jalan menghubungkan terminal positif ohmmeter dengan kaki ke kaki kolektor dan negatif ohmmeter dihubungkan dengan basis. Pada keadaan demikian jarum ohmmeter akan menunjukkan nilkai tahanan yang rendah. Kemudian hubungan itu dipertukarkan yaitu kaki kolektor dihubungkan dengan terminal – ohmmeter dan basis dihubungkan dengan terminal + ohmmeter. Jarum ohmmeter akan menunjukkan nilai tahanan yang cukup tinggi. Berarti hubungan antar kolektor dan basis masih baik.

Pengetesan yang terakhir adalah hubungan emitor dan kolektor. Mula-mula emitor dihubungkan pada terminal + ohmmeter dan kolektor dihubungkan dengan terminal - ohmmeter. Pada kondisi yang demikian penunjukkan jarum ohmmeter pada nilai tahanan yang besar. Selanjutnya jika terminal ohmmeter dipertukarkan, maka hasil pembacaannya akan menunjukkan nilai yang besar juga.



Gambar 2.3 8 Rangkaian terpadu (Integrated Circuit)
(Sutanto, hal.232)

1) Jenis-jenis IC

a) IC Linear

IC ini berfungsi sebagai penguat daya. Ciri-ciri IC linear adalah pada kode huruf tegak yang terdapat pada badan IC. Biasanya didahului dengan huruf-huruf FSA, AN, BA, CA, LM, STK dan sebagainya. Misalnya IC **CA3081**.

b) IC TTL (Transistor Transistor Lgic)

IC TTL berfungsi sebagai switching dan gerbang-gerbang logika pada sistem pengukuran digital. Ciri-ciri IC TTL adalah pada kode angka yang terdapa t pada badan IC. Biasanya didahului dengan angka 74, 78, dan 54 . Misalnya IC TTL **7815**, **7812**, **7415** dan lain-lain.

c) IC CMOS

IC CMOS memiliki fungsi yang sama dengan IC TTL. Namun dalam prakteknya, IC CMOS lebih baik dibandingkan IC TTL. Ciri-ciri IC CMOS adalah pada kode yang terdapat pada badan IC yang didahului oleh angka seperti 26, 40, 41,44, 48 atau 74. Misalnya IC CMOS 74CO4

2) Keuntungan Rangkaian Terpadu (IC)

Rangkaian Terpadu (IC) memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan rangkaian terpisah (diskrit). Beberapa diantaranya adalah:

a) IC jauh lebih kecil ukurannya dan lebih ringan

b) Sejumlah besar rangkaian atau komponen dapat diproses dalam satu operasi yang menyebabkan berkurangnya biaya.

c) Dengan tidak adanya solderan, IC jauh lebih handal.

d) Suatu reangkaian komplek dapat dipadukan dengan ukuran wajar dan biaya murah untuk memberikan karakteristik penampilan yang lebih baik.

e) Penguat IC memberikan penampilan frekwensi tinggi yang lebih baik, karena ukuran komponen yang kecil dan sambungan yang lebih pendek.

3) Kerugian Rangkaian Terpadu (IC)

Disamping keuntungan dari IC diatas, teknologi mempunyai keterbatasan berikut :

a) Induktor IC, transformator, kapasitor ukuran besar (lebih besar dari 200 pF) tidak dapat dihasilkan.

b) Tahan IC mempunyai harga terbatas, biasanya dari 10 ohm sampai batasan kilo ohm.

kurang 20 %.

d) Komponen IC mempunyai koefisien temperatur tinggi dan harganya juga peka tegangan

e) Akibat adanya kapasitansi parasitis, penampilan frekwensi tinggi terbatas.

f) Produksi IC menjadi sangat mahal untuk produksi dalam jumlah kecil.

g) Penampilan transistor PNP kurang baik.

h) Kemampuan disipasi dayanya juga kecil.

BAB III

PEMAKAIAN ELEKTRONIKA DALAM BIDANG OTOMOTIF

Pada bab tiga ini akan diuraikan pemakaian elektronika dalam bidang otomotif, yang mencakup : pengatur tegangan , sistem pengapian, intermittent wiper, pengedip lampu tanda belok dan lampu hazar, penerangan awal, dan pengunci pintu

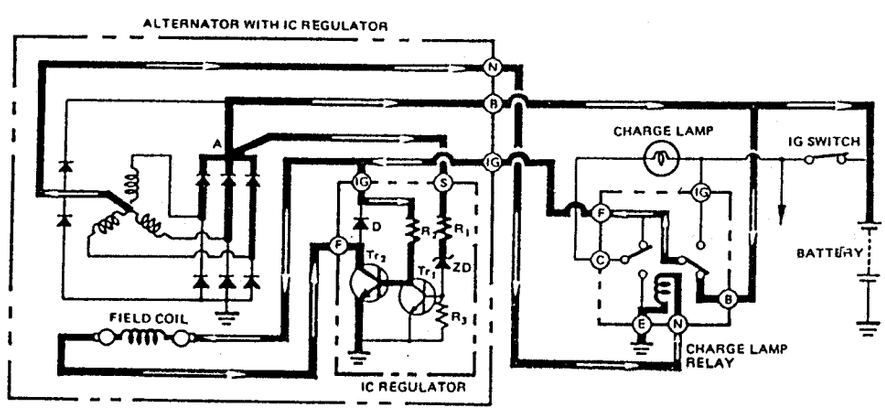
A. Pengatur Tegangan Elektronik Untuk Alternator

Dibandingkan dengan pengatur tegangan konvensional yang digunakan alternator, maka pengatur tegangan elektronik memiliki keunggulan-keunggulan sebagai berikut :

1. Tidak diperlukan penyetelan tegangan (voltage)
2. Mempunyai sifat konpensasi temperatur untuk kontrol tegangan
3. Tahan terhadap getaran yang lebih tinggi dan tahan lama.

Pengatur tegangan elektronik ini memakai komponen transistor, zener dioda, dioda, resistor dan relai. Berikut akan dijelaskan cara kerja alternator yang dilengkapi dengan pengatur tegangan elektronik.

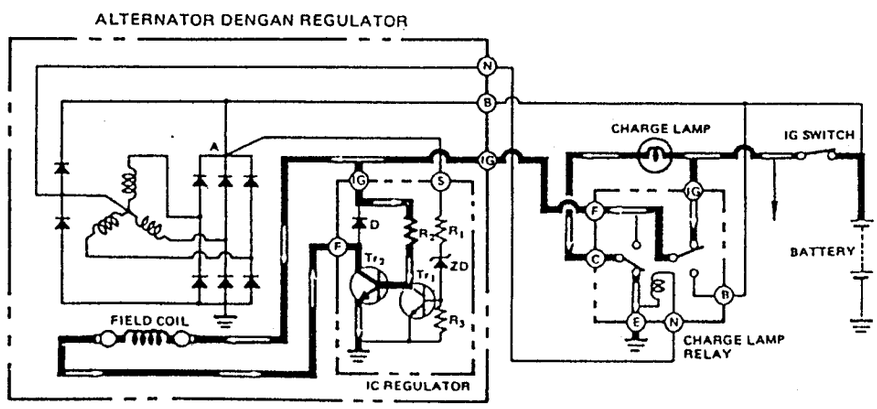
1. Pada saat ignition switch "ON" dan mesin mati



Gambar 3.1 Wiring Diagram Alternator dengan Pengatur Tegangan Elektronik (Toyota Astra2, hal.6-26)

Pada saat kunci kontak (ignition switch) pada posisi ON, maka arus dari terminal positif baterai mengalir melewati lampu pengisian (charge lamp) ke terminal C relai lampu pengisian dan akhirnya ke terminal E dan ke massa. Akibatnya lampu pengisian menyala. Pada saat ini arus yang ke rotor (field current) mengalir melalui terminal IG relai lampu pengisian dan terus ke base TR2, sehingga TR2 ON. Dengan demikian arus kolektor TR2 mengalir dari terminal IG alternator terus ke field coil dan ke massa bodi.

2. Saat mesin hidup pada putaran rendah



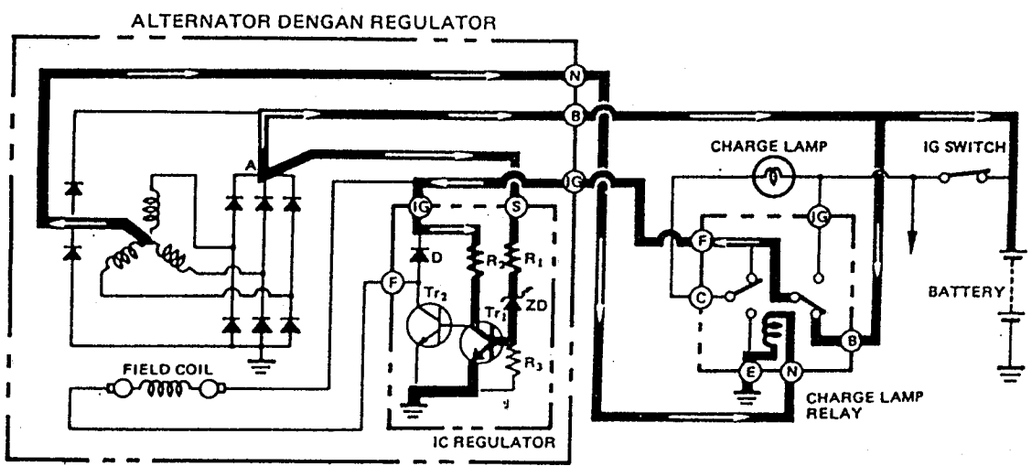
Gambar 3.2 Pengaturan tegangan saat putaran rendah
(Toyota Astra 2, hal.6-26)

Ketika mesin distart dan kecepatan putaran alternator mencapai sekitar 600 - 700 rpm, tegangan netral dari alternator menyebabkan arus mengalir dari terminal N alternator ke relai lampu pengisian dan memberikan kemagnetan pada kumparan relai (relay coil). Pada saat yang sama, kontak point-kontak point kumparan relai bergerak ke sisi point yang berlawanan (titik kontak C lepas hubungan dengan massa dan berhubungan dengan titik kontak F, titik kontak yang lain terlepas dari IG dan berhubungan dengan B). Dengan demikian, di terminal C dan B relai lampu

pengisian, tegangannya akan berubah pada potensial yang sama dan ini menyebabkan lampu pengisian padam dan ini menunjukkan alternator sedang melakukan pengisian..

Arus yang keluar dari terminal B alternator melewati relai lampu pengisian dan diteruskan ke terminal IG alternator melalui terminal F relai lampu. Pada saat ini, arus listrik juga dikirim dari S ke zener dioda (DZ) (lihat gambar), tetapi zener dioda tidak dapat menghantar bila output alternator dibawah tegangan pengaturan. Dengan demikian, arus yang ke TR1 terputus ditempat ini oleh zener dioda.

3. Mesin hidup pada putaran tinggi



Gambar 3.3 Pengaturan tegangan saat putaran tinggi
(Toyota Astra 2, hal.6-27)

Apabila putaran alternator naik dan tegangan yang keluar menjadi lebih tinggi daripada tegangan terminal baterai, alternator mulai mengisi. Akhirnya bila tegangan yang dikeluarkan lebih dari tegangan yang diatur oleh regulator, maka zener dioda akan dialiri arus dari terminal A alternator. Kemudian melalui terminal

(S) regulator arus mengalir melewati resistor R1, zener dioda, base TR1 dan emitter terus ke massa. Akibatnya TR1 menjadi ON, sehingga tidak terdapat perbedaan potensial antara base TR2 dengan emitternya. Pada keadaan ini TR2 akan OFF dan arus yang ke kumparan rotor (rotor coil) akan berkurang dan pada waktu bersamaan tegangan keluar dari alternator juga menurun (drops).

Selanjutnya jika tegangan keluar alternator berkurang atau lebih rendah daripada tegangan regulator, maka arus berhenti mengalir melewati DZ, sehingga TR1 kembali OFF dan TR2 kembali ON. Arus yang ke field coil kembali mengalir dan magnet tumbuh lebih kuat sehingga output alternator kembali naik.

Pada waktu output alternator lebih rendah daripada harga yang diatur maka transistor TR2 - ON dan TR1 - OFF. Sebaliknya jika tegangan output alternator lebih tinggi dari harga yang diatur maka TR2 - OFF dan TR1 - ON. Dengan demikian arus yang masuk ke rotor coil dapat diatur dan tegangan yang dibangkitkan selalu dipertahankan pada harga konstan.

B. Sistem Pengapian Semi Transistor

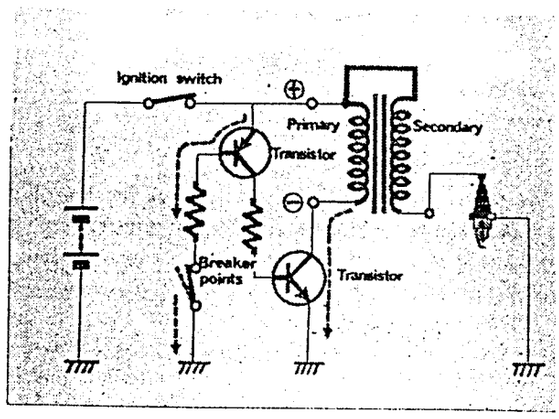
Sistem pengapian konvensional pada motor bensin memiliki beberapa kelemahan yang disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

a. Berkuranganya tegangan tinggi yang dihasilkan ignition coil pada saat putaran rendah

b. Perubahan saat pengapian sangat cepat sekali

Kedua hal tersebut diatas disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah disebabkan oleh besarnya arus listrik yang mengalir dan terjadinya loncatan api pada

Untuk mendapatkan sistem pengapian yang lebih baik, dapat dilakukan modifikasi dari sistem yang sudah ada dengan jalan memasang dua buah transistor pada sirkuit pengapian seperti terlihat pada gambar berikut :



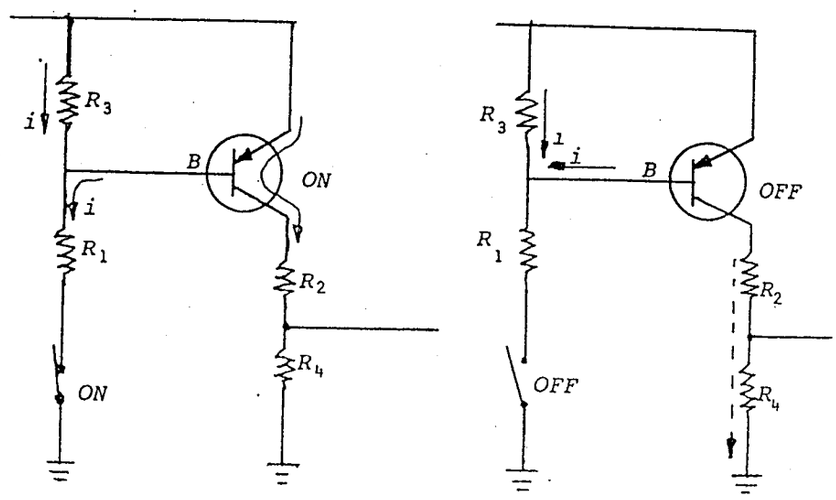
Gambar 3.4 Pengapian semi transistor
(Toyota Astra 2, hal.7-30)

Transistor TR1 adalah jenis PNP dan transistor TR2 adalah jenis NPN. Masing-masing terminalnya adalah sebagai berikut : untuk transistor TR1, terminal emitor dihubungkan dengan kunci kontak, terminal base dihubungkan dengan breaker point melalui tahanan R sedangkan terminal colektor dihubungkan dengan base TR2 melalui R2. Untuk transistor 2, terminal kolektor dihubungkan dengan terminal negatif koil, terminal base dihubungkan dengan terminal E (massa) melalui R2. Berikut akan diuraikan secara rinci cara kerja sistem pengapian semi transistor.

Apabila breaker point dalam posisi tertutup, maka arus listrik mengalir dari terminal E pada TR1 ke terminal B selanjutnya melalui R1 dan breaker point mengalir ke massa. Akibat mengalirnya arus listrik dari B ke E pada TR2 yang

diteruskan ke massa, arus listrik mengalir dari kunci kontak ke kumparan primer, terminal C - E pada TR2 dan terus kemassa. Apabila breaker point terbuka maka TR1 akan OFF dan TR2 juga akan OFF sehingga timbul induksi pada kumparan-kumparan ignition coil yang menyebabkan timbulnya tegangan tinggi pada kumparan sekunder.

Untuk mempercepat pemutusan arus listrik pada TR1 saat breaker point mulai membuka, maka diantara kunci kontgak dan terminal B TR1 dihubungkan malalui R3. Dengan demikian aliran arus pada R3 adalah seperti gambar berikut :



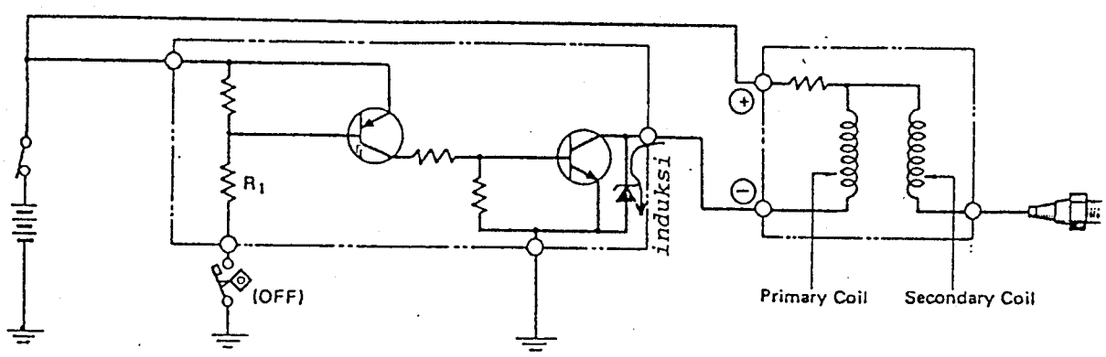
Gambar 3.5 Cara kerja dari tahanan R3 dan R4
(Toyota Astra 2, hal.7-31)

Pada saat breaker point menutup, arus listrik yang mengalir ke breaker point datangnya dari dua arah yaitu dari R3, R1 dan dari B dan R1. Pada saat breaker point mulai membuka, arus listrik dari B ke R1 ditahan oleh arus listrik dari R3 sehingga TR1 segera menjadi OFF. Disamping adanya penambahan R3, juga ada penambahan R4 yang akan mempercepat hilangnya arus TR1 saat breaker point

mulai membuka. Dengan membukanya breaker point TR1 akan segera OFF yang selanjutnya TR2 juga OFF. Akibat dari kejadian ini pada kumparan primer akan timbul tegangan induksi dengan tegangan sekitar 300 volt.

Tegangan yang tinggi ini akan merusak TR2. Untuk mencegah kerusakan ini maka diantara C dan E pada TR2 dipasangkan zener dioda yang akan mem-bypass tegangan induksi langsung ke massa seperti terlihat pada gambar 3.6

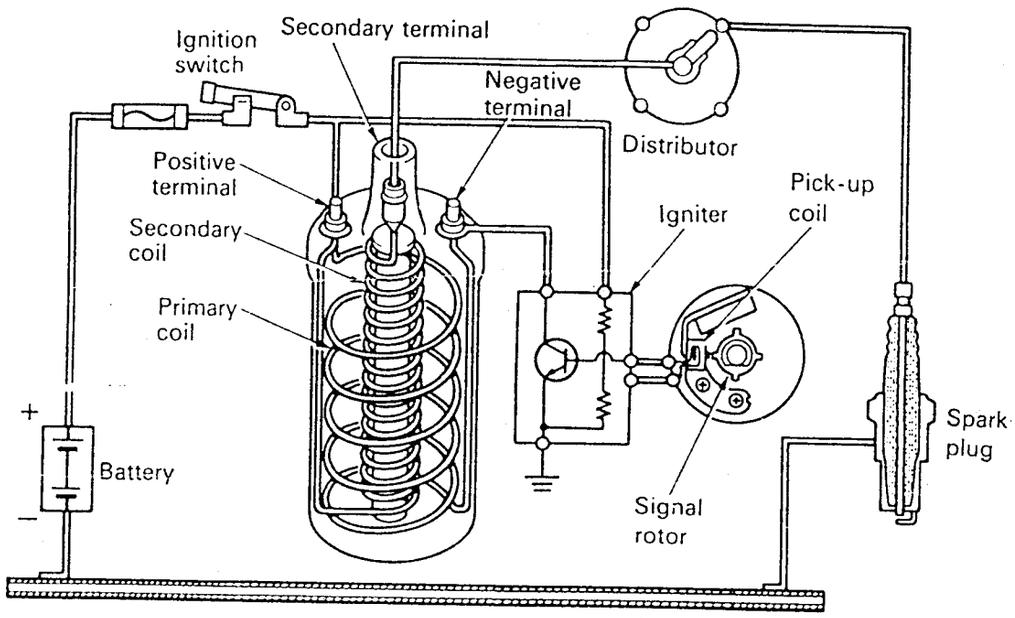
Terjadi aliran listrik dari tegangan induksi ke massa melalui zener dioda disebabkan adanya batas tegangan balik yang tertentu dari zener dioda sehingga tegangan antara terminal C dan E pada TR1 dapat dibatasi harganya.



(Toyota Astra 2, hal. 7-32)
Gambar 3.6 Pemasangan zener dioda pada TR2

C. Pengapian Tipe Fully-Transistor

Pada sistem pengapian fully transistor, signal generator dipasangkan sebagai pengganti cam dan breaker point pada distributor. Signal generator akan menghasilkan tegangan, yang berguna untuk menyalakan transisttor-transistor didalam igniter untuk memutuskan arus primer pada ignition coil.



Gambar 3.7 Sistem pengapian fully-transistor
(Toyota Astra 3, hal. 6-17)

Karena transistor-transistor yang dipergunakan untuk memutuskan arus primer tidak melibatkan bagian-bagian yang bergerak yang saling bersinggungan, maka tidak akan terjadi keausan dan tidak akan terjadi penurunan tegangan sekunder yang dihasilkan.

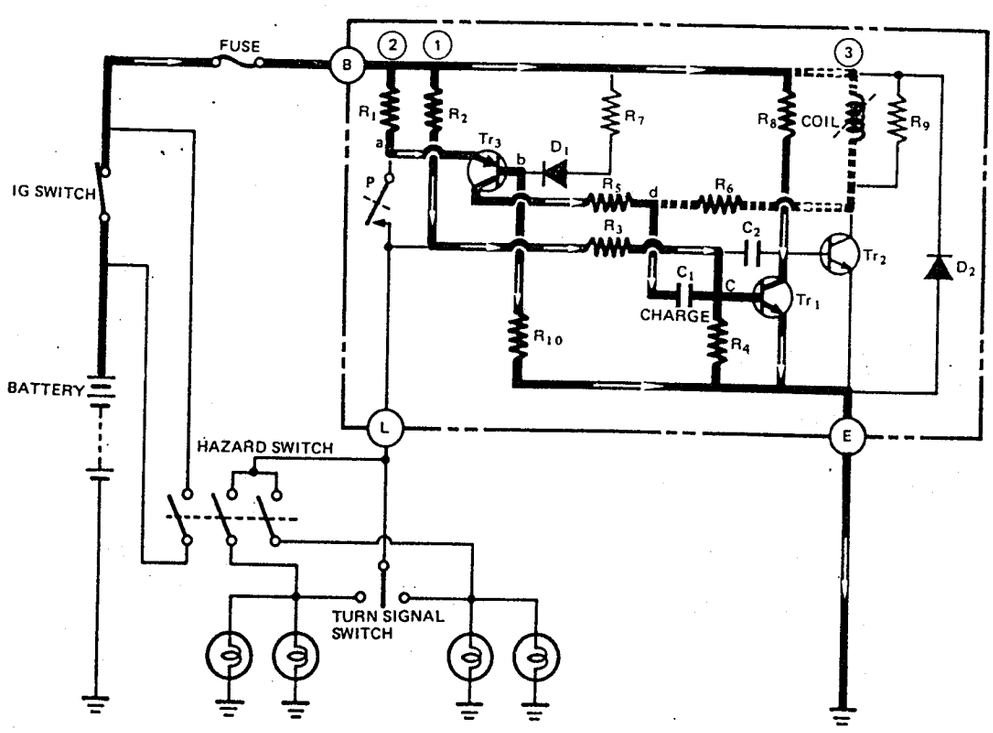
D. Pengedip (Flasher) Semi Transistor

Pengedip model semi transistor adalah merupakan pengedip lampu tanda belok atau lampu darurat (hazar) yang dijalankan berdasarkan sistem elektronik. Keunggulan utama pengedip semi transistor ini adalah dimana transistor dengan arus kecil akan dapat bekerja secara stabil sebagai pengedip tanpa terpengaruh oleh adanya bola lampu yang putus atau rusak. Sedangkan pada pengedip model

konvensional, pengedipannya akan mengalami perlambatan jika ada bola lampu tanda belok (lampu hazar) yang putus atau rusak.

Cara Kerja Flasher Semi Transistor

Pada gambar 3.8 terlihat gambar jaringan kelistrikan pengedip jenis semi transistor. Pada saat kunci kontak ON arus akan mengalir masing-masing berturut-turut dari terminal B - 1 - R2 - R3 - TR1 - E - dan massa bodi sehingga TR1 akan ON dan TR2 akan OFF. Karena TR2 OFF maka arus yang ke koil - R6 - C1 - TR1 - E - massa bodi dan koil tidak cukup kuat menarik titik kontak P. Akibatnya tegangan pada titik **a** lebih besar daripada titik **b** sehingga TR3 ON. Pada saat ini dapat dilihat bahwa arus listrik akan mengalir dari B - R1 - TR3 - R10 - E - Massa Bodi dan B - R5 - C1 - TR1 - E - Massa Bodi



Gambar 3.8 Jaringan kelistrikan pada saat kunci kontak ON
(Toyota Astra 4, hal.5-35)

Kondensor C1 diisi oleh arus 2 dan 3; dan jika kondensor penuh maka C1 akan melepaskan isinya mengikuti route R6 - gulungan - (3) - R8 - TR1 - E dan Massa Bodi. Pada saat ini TR1 tetap ON karena titik C tegangannya tetap tinggi

1. Saat Sakelar Tanda Belok Pada Posisi ON

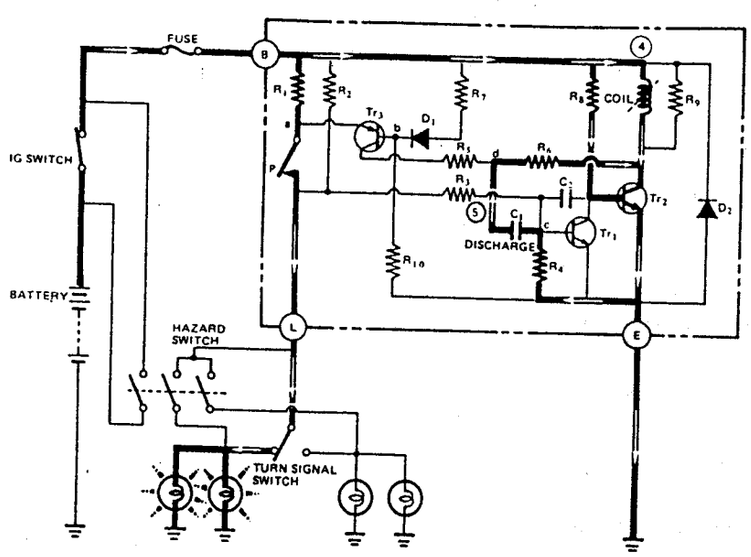
Bila sakelar tanda belok pada posisi ON, tegangan terminal L mendekati sama dengan tegangan massa bodi, maka arus (1) akan menuju ke L - Massa Bodi. Lampu tidak menyala karena arus yang mengalir kecil. Pada keadaan ini tegangan base TR1 akan turun sehingga TR1 akan OFF dan TR2 akan ON. Sebagai akibatnya arus (4) mulai mengalir dari B - Gulungan - TR2 - E - Massa Bodi dan ini menyebabkan gulungan menjadi magnet dan menutup titik P yang mengakibatkan lampu-lampu belok menyala.

Selanjutnya karena tegangan terminal L mendekati sama dengan tegangan massa, maka tegangan titik **a** juga turun dan menyebabkan TR3 OFF. Bila TR3 OFF, pengisian arus C1 dari arus (2) dan (3) akan berhenti dan pada saat yang sama bila TR1 OFF, kondensor C1 melepaskan isinya mengikuti route (5) yaitu C1 - R6 - TR2 - R4 - C1. Selama C1 mengeluarkan isinya, tegangan turun pada R4 untuk mempertahankan tegangan titik C pada polaritas negatif dan menjaga agar keadaan TR1 tetap pada posisi OFF (pada saat TR1 OFF lampu akan tetap menyala)

Lampu-lampu mempunyai tahanan yang kecil pada saat tidak menyala (mati) tapi bila lampu menyala maka tahanannya akan bertambah besar. Jadi selama lampu menyala, terminal L tegangangannya akan sedikit naik dan pada saat C1 mengeluarkan isinya tegangan R4 turun untuk mencegah tegangan

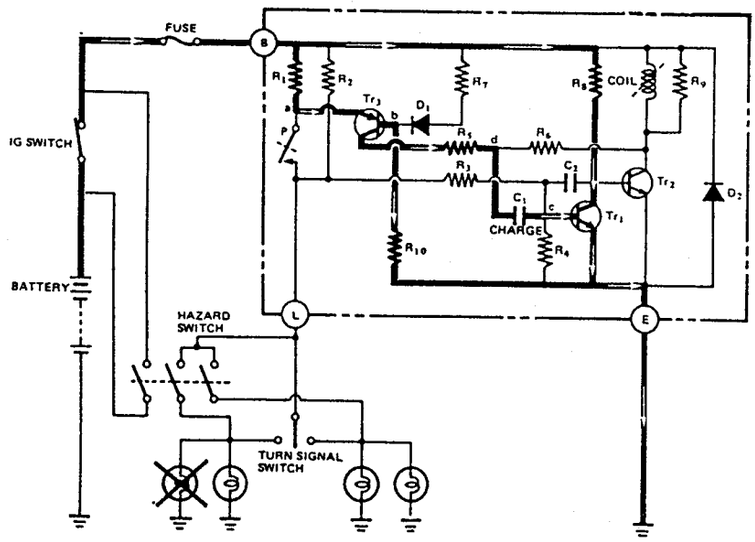
pada titik C (tegangan base TR1) sampai TR1 ON. Bila C1 selesai mengeluarkan isinya, titik C tegangannya bertambah naik dan pada saat ini TR1 akan ON sedangkan TR2 OFF.

Arus yang mengalir ke gulungan akan terputus dan titik P akan terbuka, sehingga mengakibatkan tegangan titik a akan naik dan TR3 akan menjadi ON. Arus pengisian C1 akan mulai mengalir kembali melalui arus ke (2) dan (3) seperti terlihat pada gambar diatas, sehingga TR1 akan tetap ON secara kontinyus. Selama keadaan itu lampu-lampu akan mati (tidak menyala). Bila C1 terisi penuh arus ke (2) dan (3) akan berhenti mengalirkan arus dan tegangan base TR1 akan turun sehingga TR1 OFF dan TR2 akan kembali ON serta lampu-lampu akan menyala. Kerja diatas terjadi secara berulang-ulang dan menyebabkan lampu-lampu tanda belok mengedip.



Gambar 3.9 Saat flasher bekerja normal
(Toyota Astra 4, hal.5-36)

2. Sakelar OFF dengan Satu Lampu Putus.



Gambar 3.10 Kunci kontak ON dan lampu ada yang putus
(Toyota Astra 4, hal. 5-37)

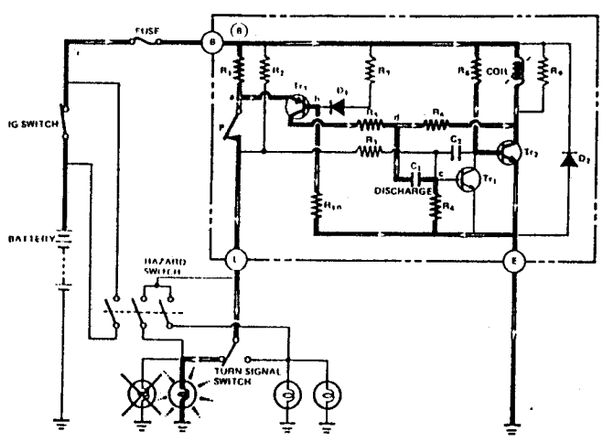
Pada keadaan normal bila P sedang tertutup dan lampu-lampu akan menyala, tegangan pada titik **a** akan menurun dan TR3 akan OFF. Jika pada saat satu bola lampu putus dan lampu yang lain menyala maka tegangan pada titik **a** akan naik dan TR3 akan ON. Pada kondisi yang demikian arus ke (6) akan mengalir dari B - R1 - TR3 - R5 - C1 - TR1 - E dan tegangan pada titik **d** akan naik. Akibatnya C1 hanya dapat melepaskan isinya dari pengisian penuh pada tegangan titik **d** dengan demikian TR1 akan ON dan lampu-lampu tidak menyala sebelum C1 selesai melepaskan isinya.

3. Sakelar ON dengan Satu Lampu Putus

Kemudian bila C1 sedang diisi, waktu pengisian menjadi lebih pendek/singkat karena C1 tidak melepaskan seluruh isinya dan ini

mengakibatkan TR1 menjadi OFF dan lampu akan menyala lebih awal dibandingkan dengan keadaan normal atau dengan kata lain jumlah kedipan bertambah bila satu bola lampu putus. Siklus pengedipan ditentukan oleh waktu yang diperlukan untuk pengisian dan pengeluaran C1. Jika suplai tegangan pengisian C1 turun, maka pengisian arus C1 akan berhenti mengalir dan mengakibatkan TR1 akan OFF dan TR2 ON dan ini akan mempengaruhi kecepatan pengedipan lampu. Untuk menghindari hal tersebut, rangkaian ini dilengkapai dengan kondensor C2.

C2 diisi oleh arus B - R2 - R3 - C2 - TR1 - E - Massa Bodi. Apabila suplai tegangan secara tiba-tiba turun, maka C2 segera mengalirkan muatannya ke base TR1 untuk mencegah TR1 OFF sehingga tegangan suplai dapat tetap dipertahankan dan C2 selanjutnya akan diisi kembali.



Gambar 3.11 Kerja flasher dengan lampu ada yang putus
(Toyota Astra 4, hal. 5-36)

E. Intermittent Wiper

Intermittent wiper adalah penggunaan wiper yang terputus-putus jalannya (tidak

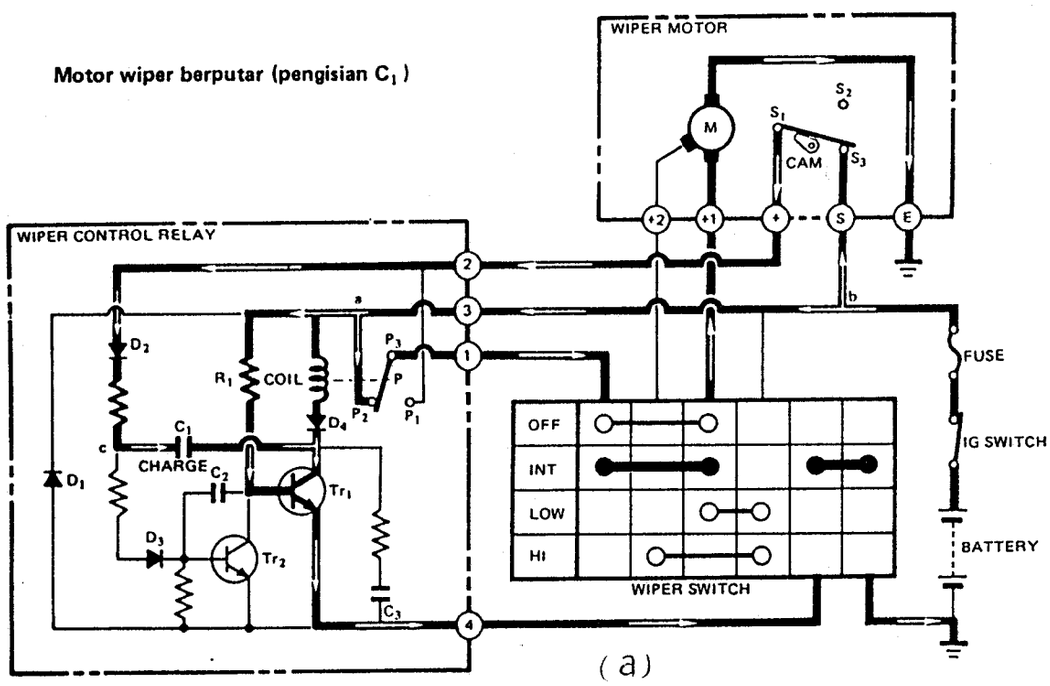
kontinyus) yang mana kerjanya diatur oleh relai pengontrol wiper, dimana magnet dari relai ON 0,5 detik dan OFF selama 4,5 detik.

1. Cara Kerja Intermitent Wiper

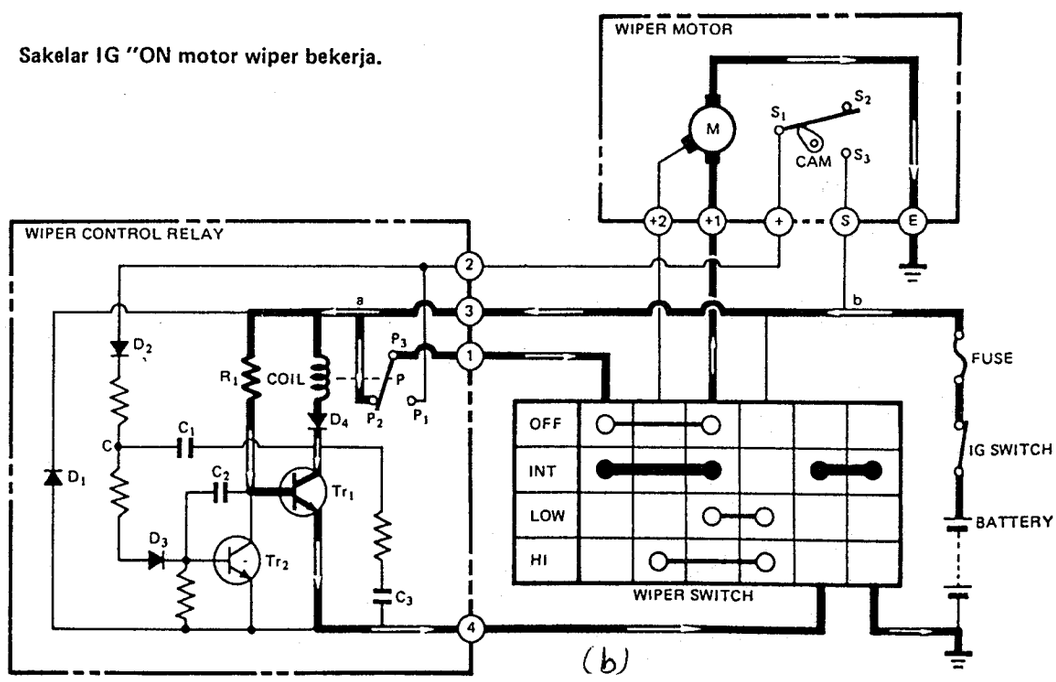
Pada saat kunci kontak ON dan sakelar intermitent ON, arus listrik akan mengalir dari baterai ke terminal 3 relai - R1 - Tr1 - massa. Kemudian dari terminal 3 relai arus mengalir ke gulungan relai - D4 - Tr1 - terminal 4 - sakelar wiper - massa dan ini mengakibatkan gulungan menjadi magnet sehingga P3 berhubungan dengan P2. Selanjutnya arus listrik dari terminal 3 relai akan mengalir ke **a** - P2 - P3 - terminal1 - sakelar intermitent - terminal +1 motor wiper - E - massa bodi dan ini mengakibatkan motor wiper berputar pada putaran lambat.

Pada saat motor wiper mulai berputar lambat, maka cam plate (auto stop cam) akan menghubungkan terminal S1 ke S3, maka arus dari baterai akan terus mengalir ke sekering - **b** - terminal S - titik kontak S3 - S1 - terminal + - terminal 2 relai - dioda D2 - **c** - kondensor C1 - Tr1 - massa. Dengan demikian akan terjadi pengIsian muatan pada kondensor C1.

Selanjutnya bila kondensor C1 telah terisi penuh maka pengisian akan terhenti dan mengakibatkan tegangan pada titik C naik dan arus mengalir ke D3 sehingga Tr2 ON dan Tr1 OFF. Pada saat yang bersamaan arus pada terminal 3 mengalir ke R1 - Tr2 - terminal 4 - massa bodi. Saat Tr1 OFF terminal P3 akan berhubungan dengan P1 dan arus dari terminal 2 akan mengalir ke P1 - P3 - terminal 1 - terminal +1 - motor - E - massa bodi dan ini mengakibatkan motor terus bekerja.



(a)



(b)

Gambar 3.12 (a) Jaringan kelistrikan intermittent wiper dan (b) saat motor wiper mulai bekerja (Toyota Astra 4, hal.5-44)

Kemudian saat cam berputar satu putaran maka titik kontak akan melepas hubungan S1 dengan S3 dan hubungan akan berpindah dari S1 ke S2 sehingga motor berhenti berputar dan arus yang mengalir ke terminal 2 terhenti mengalir. Dengan demikian kondensor akan melepaskan isinya melalui base Tr2 ke massa bodi. Setelah muatan listrik pada kondensor habis, Tr2 akankembali OFF dan Tr1 ON dan ini kembali menyebabkan motor wiper kembali berputar lambat.

F. Sistem Penerangan Awal

Dengan sistem penerangan awal, pengendara akan mudah untuk mempersiapkan start kendaraan malam hari. Lampu yang letaknya diatas tuas pembuka tutup mesin akan menyala dan menerangi silinder kunci kontak untuk waktu kira-kira 30 detik setelah pengendara membuka pintu. Sistem penerangan awal ini mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Lampu akan menyala untuk kira-kira 30 detik setelah pengendara membuka pintu dengan kunci
2. Lampu akan hidup kembali untuk waktu yang sama apabila pengendara mengulang membuka kunci pintu dan menutup pintu kembali
3. Lampu akan mati setelah 0.5 detik apabila kunci kontak diputar keposisi ON diantara waktu 30 detik tersebut. Cara Kerja Lampu Penerangan Awal

1. Saat Pintu Terkunci, Kendaraan Berhenti

Pada saat pintu terkunci , arus listrik sebesar 0.6 amper akan tetap mengalir dari baterai ke sekering - terminal 2 - R1 - terminal 1 - kunci pintu - massa bodi

4. Kunci Kontak Pada Posisi ON

Jika kunci kontak diputar ke posisi ON pada saat lampu masih menyala maka tegangan pada titik A akan naik dan ini mengakibatkan pengeluaran/pelepasan kondensor akan terhenti sehingga Tr2, Tr3 dan Tr4 akan OFF dan ini mengakibatkan lampu tidakmenyala (mati)

G. Pengunci Pintu

Dengan sistem ini penguncian semua pintu dapat diatur dari sisi kemudi. Konstruksinya terdiri dari satu sakelar pengontrol pintu yang terletak disisi pengemudi dengan empat buah selenoid yang terpasang pada ke empat pintu dan dua buah relai pengontrol pintu

Model pengunci pintu ada 2 macam yaitu :

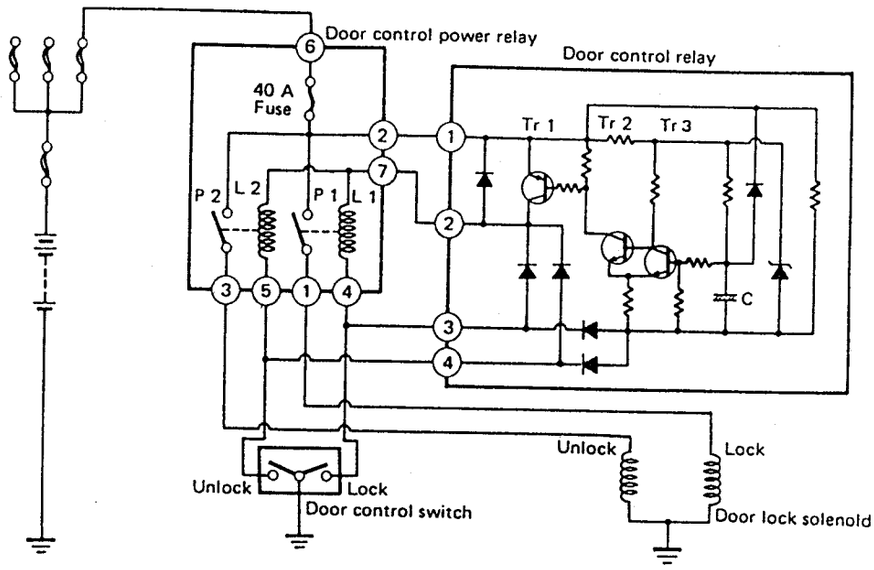
1. Magnetic Lock
2. Auto Lock

1. Cara Kerja Pengunci Pintu Magnetic Lock

a. Sakelar pengontrol pintu pada posisi mengunci (lock)

Pada saat sakelar pengontrol pengunci pintu pada posisi mengunci maka arus dari baterai akan mengalir ke FL - Sekering - Terminal 6 power relai - sekering 40 amper - terminal 2 power relai - terminal 1 relai pengontrol pintu - base Tr2 (Tr2 menjadi ON) sehingga arus listrik akan mengalir dari Tr2 ke dioda - terminal 3 relai pengontrol pintu - sakelar pengunci pintu - massa bodi dan sebagai akibat Tr2 ON, Tr1 juga akan ON dan selanjutnya arus dari Tr1 mengalir ke terminal 2 relai pengontrol pintu - terminal 7 power relai - gulungan L1 - terminal 4 power relai - sakelar pengunci - massa bodi. Akibatnya gulungan L1

menjadi magnet dan titik kontak P1 berhubungan sehingga arus listrik mengalir melalui sekering 40 amper ke titik kontak P1 - terminal 1 power relai - selenoid pengunci - massa bodi sehingga pintu terkunci.



Gambar 3.13 Jaringan kelistrikan pengunci pintu mobil model magnet (Toyota Astra 4, hal.5-53)

b. Sakelar pengontrol pintu pada posisi membuka (unlock)

Pada keadaan ini arus baterai akan mengalir ke FL - sekering - terminal 6 power relai - sekering 40 amper - terminal 2 power relai - terminal 1 relai pengontrol pintu - base Tr2. Akibatnya Tr2 ON sehingga arus listrik akan mengalir juga dari Tr2 ke terminal 4 relai pengontrol pintu - sakelar pembuka kunci pintu - massa bodi. Pada saat yang bersamaan Tr1 juga akan ON sehingga arus listrik akan mengalir dari Tr1 ke terminal 2 relai pengontrol pintu - terminal 7 power relai - gulungan L2 - terminal 5 power relai - sakelar pembuka kunci pintu - massa bodi. Akibatnya gulungan L2 menjadi magnet dan menarik titik kontak P2 berhubungan. Dari sini arus listrik akan mengalir ke terminal 3 power

relai - selenoid pembuka kunci - massa bodi, sehingga demikian kunci pintu akan terbuka.

c. Pada keadaan sakelar masih tertahan (hold)

Setelah selenoid mengunci atau membuka kunci bekerja tetapi sakelar masih pada posisinya (tertahan), ini perlu pencegahan agar selenoid tidak terbakar. Pada saat kondensor diisi diperlukan waktu 4 s/d 10 detik sampai terisi penuh. Kemudian setelah kondensor penuh maka base Tr3 akan megalami kenaikkan tegangan sehingga Tr3 ON dan pada saat yang bersamaan Tr2 dab Tr1 akan OFF. Dengan demikian suplai arus ke gulungan L akan terhenti dan titik kontak P akan terbuka sehingga selenoid berhenti bekerja.

2. Cara Kerja Pengunci Pintu Otomatis (Auto Lock)

Pengunci pintu sisten auto lock adalah sistem pengunci pintu yang bekerja sendiri apabila kendaraan berjalan lebih dari 20 km/jam. Pada sistem ini relai pengontrol pintu (door control relay)selain mengontrol kerja sakelar juga mengontrol kerja dari speedometer (kecepatan kendaraan). Relai pengontrol pintu terdiri dari delapan buah transistror yang bekerja berlainan. Dibawah ini adalah tabel keadaan ON dan OFF-nya transistor-transistor pada keadaan berlainan.

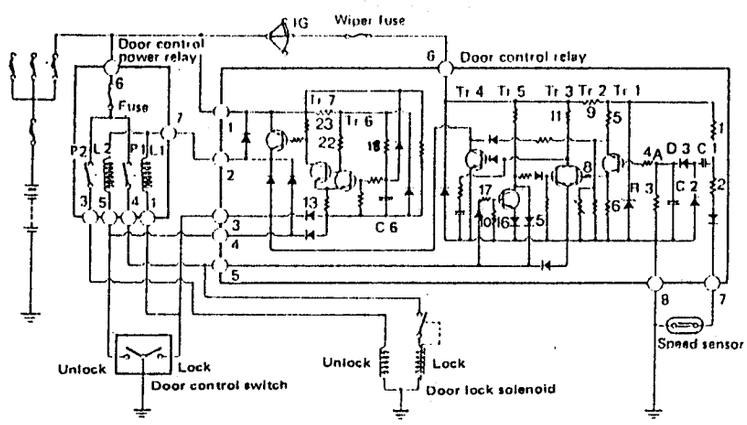
Tabel 3.1 Keadaan ON dan OFF-nya Transistor

No	Trasistor	Kecepatan kendaraan dibawah 20 km/jam	Kecepatan kendaraan diatas 20 km/jam	Pada saat sakelar tertahan (Hold)
1	Tr1	ON	OFF	OFF
2	Tr2	ON	OFF	OFF
3	Tr3	OFF	OFF	ON
4	Tr4	OFF	ON	OFF
5	Tr5	OFF	ON	OFF
6	Tr6	OFF	OFF	ON
7	Tr7	OFF	ON	OFF
8	Tr8	OFF	ON	OFF

Sumber : Toyota Astra 4, hal.5-54)

Pengunci pintu automatis (auto lock) diatur oleh dua buah relai yaitu : Door control relay dan door control power relay. Sakelar pengatur pintu (door control switch) dan selenoid pengunci/pembuka pintu (door lock selenoid) terletak pada masing-masing pintu. Speed sensor diletakkan dan berhubungan dengan speedometer yang berfungsi sebagai sensor kecepatan kendaraan. Sensor speed memberikan tanda ON - OFF pada door controlo relay. Door control power relay diatur oleh door control relay. L1 dan P1 pada door control power relay digunakan untuk selenoid pengunci pintu. L2 dan P2 dipergunakan untuk membuka pengunci pintu. Berikut cara kerja auto lock :

a. Pada saat kendaraan berhenti dan kunci kontak ON



Gambar 3.14 Jaringan kelistrikan auto lock
(Toyota Astra 4, hal.5-55)

1) Bila speed sensor OFF maka arus listrik akan mengalir dari :

Baterai - FL - sakelar IG - sekering wiper - terminal 6 - R9 - R1 - C1 - D3 - terminal 8 - massa bodi. Pengisian C2 berlangsung selama pengisian C1. Kapasitas C2 lebih kecil dari C1, dengan demikian C1 lebih dahulu terisi,

sehingga saat C1 penuh maka pengisian C2 terhenti dan C2 akan melepaskan isinya melalui R3 - terminal 8 - massa bodi.

2) Bila speed sensor ON maka arus listrik akan mengalir dari :

Terminal 6 - R9 - R1 - R2 - D1 - terminal 7 - speed sensor (ON) - massa bodi. Pada saat ini tidak ada pengisian C1 dan C2, tetapi terjadi pelepasan isi C1 ke R2 - D1 - Terminal 7 - speed sensor - massa bodi. C2 juga melepaskan isinya ke R3 - terminal 8 - massa bodi.

b. Saat kecepatan kendaraan di bawah 20 km/jam

Pada keadaan ini speed sensor akan ON/OFF secara berselang-seling sesuai dengan kecepatan kendaraan; hal ini menyebabkan terjadinya pengisian dan pelepasan muatan pada kondensor C1 dan C2. Pada kecepatan rendah tegangan titik A akan rendah sehingga tegangan base Tr1 menyebabkan TR1 ON. Dengan demikian arus listrik akan mengalir dari terminal 6 ke R9 - R5 - Tr1 - R6 - terminal 8 - massa bodi. Pada saat bersamaan dari terminal 6 juga terjadi aliran arus ke R8 - Base Tr2 (Tr2 menjadi ON) - terminal 8 - massa bodi. Tr3 menjadi OFF karena basenya berhubungan dengan D5 - terminal 5 - selenoid - massa bodi (selenoid tidak dapat bekerja karena arus yang masuk kecil). Kemudian Tr4 juga OFF karena arus basenya kecil. Tr5 OFF karena tegangan basenya dari P1 (P1 dalam keadaan OFF) tidak dialiri arus listrik dari Tr8.

c. Kecepatan kendaraan di atas 20 km/jam

Pada kecepatan tersebut tegangan titik A akan naik karena semakin seringnya pelepasan isi C2 sehingga Tr1 OFF dan diikuti oleh Tr2 dan Tr3. Selanjutnya karena Tr2 dan Tr3 OFF maka tegangan base Tr4 akan naik yang membuat Tr4