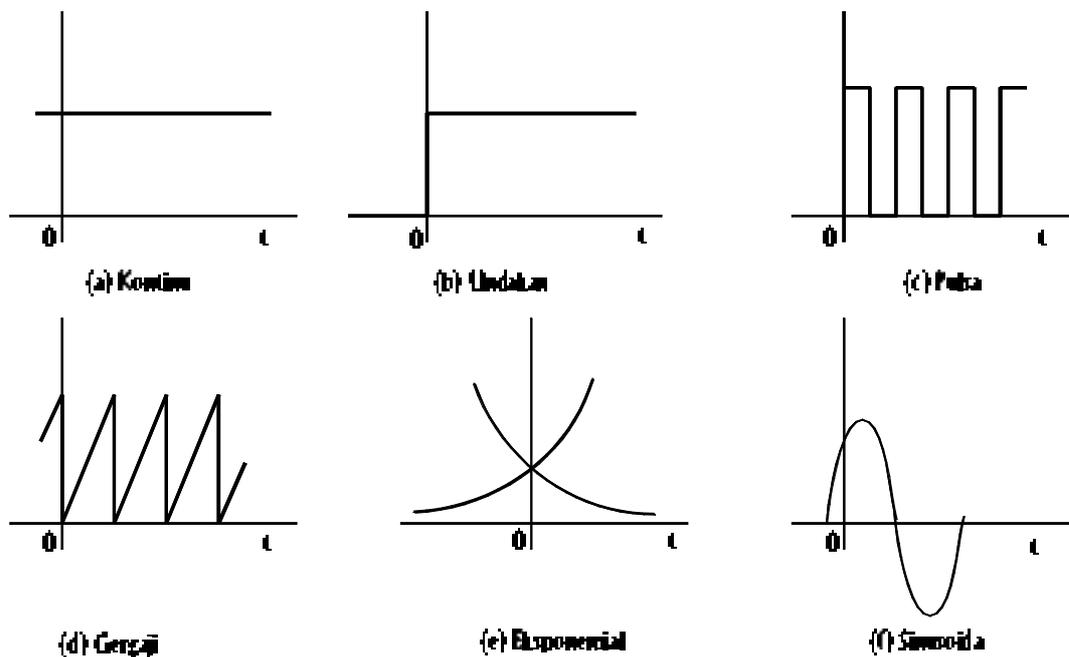


# 4

## KAPASITOR, INDUKTOR DAN RANGKAIAN AC

### 4.1 Bentuk Gelombang Isyarat (*signal*)

Isyarat adalah merupakan informasi dalam bentuk perubahan arus atau tegangan. Perubahan bentuk isyarat terhadap fungsi waktu atau bentuk gelombang merupakan bagian yang sangat penting pada elektronika. Bentuk gelombang isyarat yang sering kita jumpai diantaranya adalah seperti diperlihatkan pada gambar 4.1.



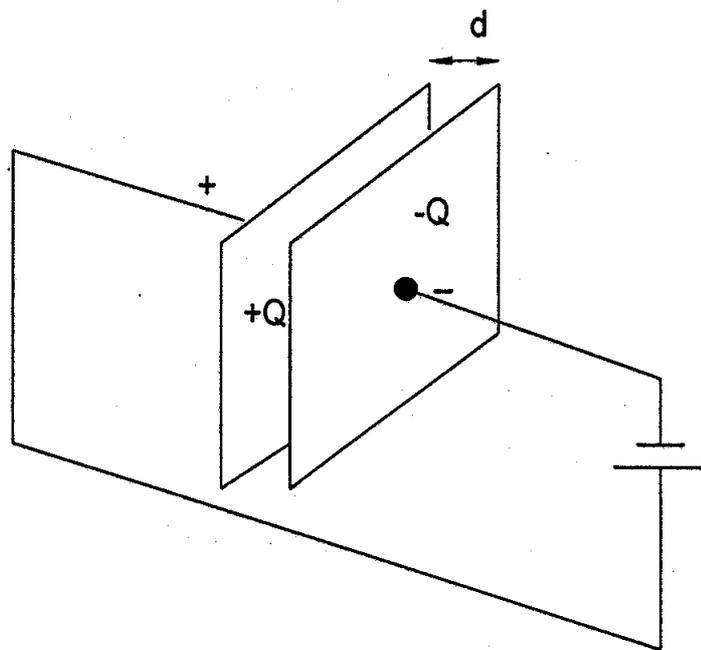
Gambar 4.1 Berbagai bentuk isyarat penting pada sistem elektronika

Tegangan searah atau kontinu dihasilkan oleh sebuah baterai generator arus DC. Arus undakan (step) mengalir saat sebuah saklar dinyalakan yang menghasilkan

tegangan searah, misalnya saat sebuah radio dinyalakan. Arus pulsa jika sebuah saklar dinyalakan (ON) kemudian dimatikan (OFF), digunakan untuk sistem informasi pada komputer. Gelombang gergaji naik secara linier kemudian reset. Arus eksponensial (menurun) mengalir saat energi disimpan dalam medan listrik pada suatu kapasitor dan dibiarkan bocor melalui sebuah resistor. Tegangan sinus diperoleh saat sebuah kumparan diputar dengan kecepatan konstan pada suatu medan listrik.

## 4.2 Kapasitor

Pada dasarnya sebuah kapasitor merupakan dua keping konduktor yang dipisahkan oleh suatu insulator (udara, hampa udara atau suatu material tertentu). Secara skematis sebuah kapasitor keping sejajar dapat digambarkan seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kapasitor keping sejajar

Misalkan tegangan DC dikenakan pada kedua keping seperti ditunjukkan pada gambar 4.2. Karena kedua keping tersebut dipisahkan oleh suatu insulator, pada dasarnya tidak ada elektron yang dapat menyeberang celah di antara kedua keping. Pada saat baterai belum terhubung, kedua keping akan bersifat netral (belum temuati).

Saat baterai terhubung, titik dimana kawat pada ujung kutub negatif dihubungkan akan menolak elektron, sedangkan titik dimana kutub positif terhubung menarik elektron. Elektron-elektron tersebut akan tersebar ke seluruh keping kapasitor. Sesaat, elektron mengalir ke dalam keping sebelah kanan dan elektron mengalir keluar dari keping sebelah kiri; pada kondisi ini arus mengalir melalui kapasitor walaupun sebenarnya tidak ada elektron yang mengalir melalui celah kedua keping tersebut.

Setelah bagian luar dari keping termuati, berangsur-angsur akan menolak muatan baru dari baterai. Karenanya arus pada keping tersebut akan menurun besarnya terhadap waktu sampai kedua keping tersebut berada pada tegangan yang dimiliki baterai. Keping sebelah kanan akan memiliki kelebihan elektron yang terukur dengan muatan  $-Q$  dan pada keping sebelah kiri termuati sebesar  $+Q$ . Besarnya muatan  $Q$  ini karenanya proporsional dengan  $V$  atau

$$Q \propto V$$

Konstanta proporsionalitas tersebut dinyatakan sebagai kapasitansi atau  $C$

$$Q = C V \tag{4.1}$$

dimana satuan kapasitansi ini dinyatakan dengan farad (F).

Secara umum hubungan antara muatan dan tegangan untuk sebuah kapasitor dapat dituliskan sebagai

$$q = C v \tag{4.2}$$

dengan demikian arus  $i$  yang mengalir diberikan oleh

$$i = dq / dt = C dv / dt \tag{4.3}$$

atau

$$\begin{aligned} v &= q/C \\ &= \frac{1}{C} \int_0^t i \, dt + V_o \end{aligned} \quad (4.4)$$

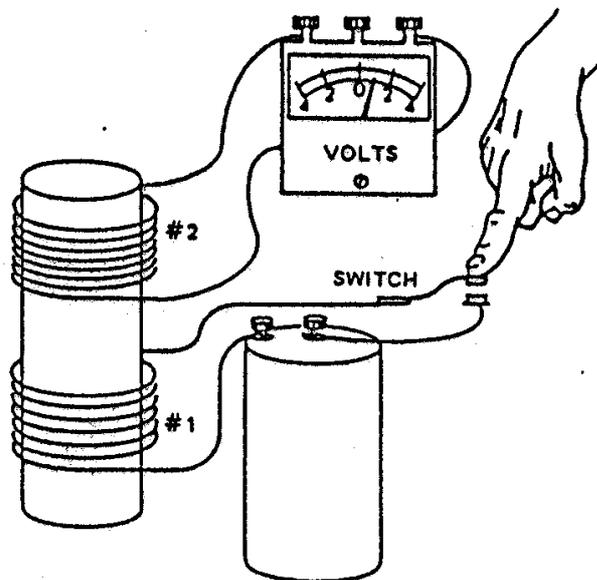
### 4.3 Induktor

Telah diketahui bahwa elektron yang bergerak atau arus listrik yang mengalir akan menghasilkan medan magnet. Namm kebalikannya untuk menghasilkan arus listrik (arus induksi) perlu dilakukan perubahan medan magnet.

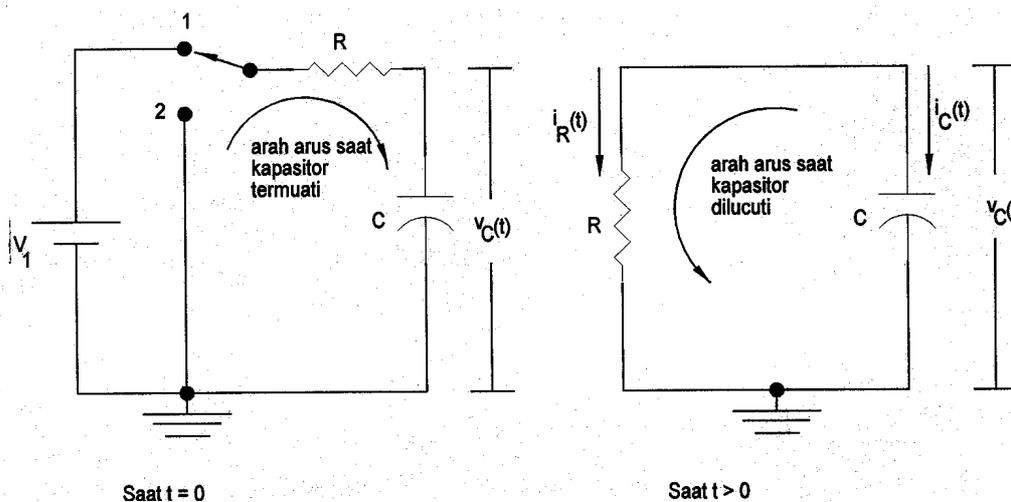
Percobaan yang sangat sederhana dapat dilakukan seperti diskemakan pada gambar 4.3. Saat saklar (*switch*) ditutup dan arus mengalir secara tetap pada kumparan di bagian bawah, maka tidak ada arus induksi yang mengalir pada kumparan bagian atas. Namun sesaat saklar ditutup (atau dibuka) sehingga medan magnet yang dihasilkan berubah, maka voltmeter akan menunjukkan adanya perubahan tegangan induksi. Besarnya tegangan yang dihasilkan adalah sebanding dengan perubaban arus induksi, dapat dituliskan sebagai:

$$v = L \, di / dt$$

dimana harga proporsionalitas  $L$  disebut induksi diri atau induktansi dengan satuan henry (H).



Gambar 4.3 Percobaan sederhana terjadinya induksi diri pada induktor



Gambar 4.4 Terjadinya arus transien pada rangkaian RC

#### 4.4 Arus Transien pada Rangkaian RC

Gambar 4.4 menjelaskan proses pemuatan dan pelucutan muatan pada sebuah kapasitor. Jika mula-mula saklar berada pada posisi 1 dalam waktu yang relatif lama maka kapasitor akan termuati sebesar  $V$  volt. Pada keadaan ini kita catat sebagai  $t = 0$ .

Saat saklar dipindah ke posisi 2, muatan kapasitor mulai dilucuti (*discharge*) sehingga tegangan pada kapasitor tersebut mulai menurun. Saat tegangan pada kapasitor mulai menurun, energi yang tersimpan akan dilepas menjadi panas melalui resistor. Karena tegangan pada kapasitor adalah sama dengan tegangan pada resistor maka arus yang lewat rangkaian juga akan menurun. Proses ini terus berlangsung sampai seluruh muatan terlucuti atau tegangan dan arus menjadi nol sehingga rangkaian dalam keadaan stabil (*steady-state*).

Untuk menentukan persamaan tegangan dan arus saat muatan kapasitor dilucuti dapat digunakan hk Kirchhoff tentang arus sebagai berikut.

$$i_C(t) + i_R(t) = 0 \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan hubungan  $V-I$  pada  $C$  dan  $R$  diperoleh

$$C \frac{dv_C}{dt} + \frac{v_C}{R} = 0 \quad (4.6)$$

Dibagi dengan C dan dengan mendefinisikan  $\tau = RC$ , didapat

$$\frac{dv_C}{dt} + \frac{v_C}{\tau} = 0 \quad (4.7)$$

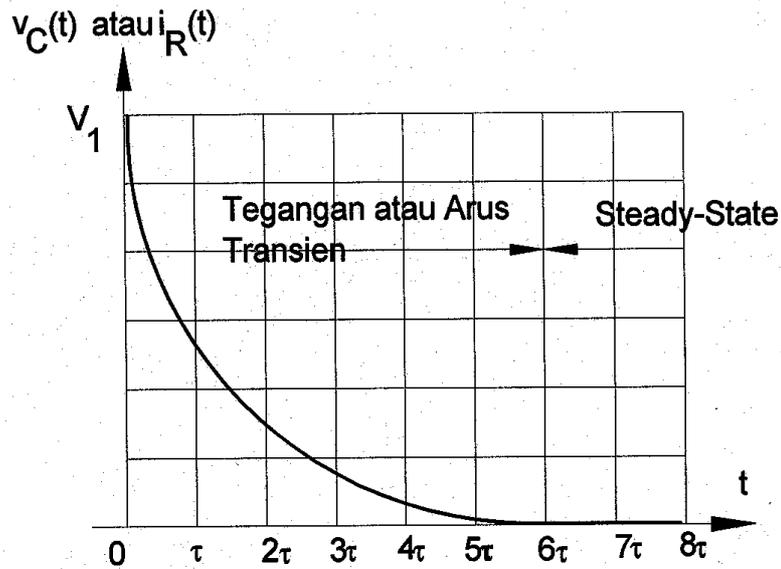
Persamaan 4.7 berlaku untuk  $t > 0$  dan mempunyai persyaratan kondisi awal  $v_C(0) = V_1$ .

Solusi dari persamaan tersebut untuk  $t > 0$  dapat ditunjukkan sebagai

$$\begin{aligned} v_C(t) &= v_C(0) e^{-t/\tau} \\ &= V_1 e^{-t/\tau} \end{aligned} \quad (4.8)$$

merupakan persamaan eksponensial dimana

- $v_C(t)$  = merupakan harga sesaat
- $V_1$  = amplitudo atau harga maksimum
- $e$  = 2,718.....
- $t$  = waktu dalam detik
- $\tau$  = konstanta waktu dalam detik



Gambar 4.5 Plot pelucutan tegangan kapasitor

Persamaan eksponensial ini menggambarkan bagaimana kondisi kapasitor saat muatannya dilucuti. Secara grafik persamaan tersebut dapat diplot seperti diperlihatkan pada gambar 4.5. Terlihat bahwa pada kondisi akhir ( $v_C(\infty)$ ), harga tegangan kapasitor adalah nol. Dapat dijelaskan, untuk proses pengisian kapasitor diperoleh:

$$v_C(t) = V_1(1 - e^{-t/\tau}) \quad (4.9)$$

#### 4.5 Rangkaian Diferensiator

Rangkaian  $RC$  pada gambar 4.6-a dapat berfungsi sebagai rangkaian diferensiator, yaitu keluaran merupakan derivatif dari masukan. Untuk kasus masukan tegangan berupa gelombang kotak, tegangan keluaran proportional dengan proses pemuatan dan pelucutan sebagai reaksi dari tegangan undakan (*step voltage*). Dalam hal ini rangkaian  $RC$  berfungsi sebagai pengubah gelombang kotak menjadi bentuk rangkaian pulsa jika konstanta waktu  $RC$  berharga lebih kecil dibandingkan periode dari gelombang masukan.

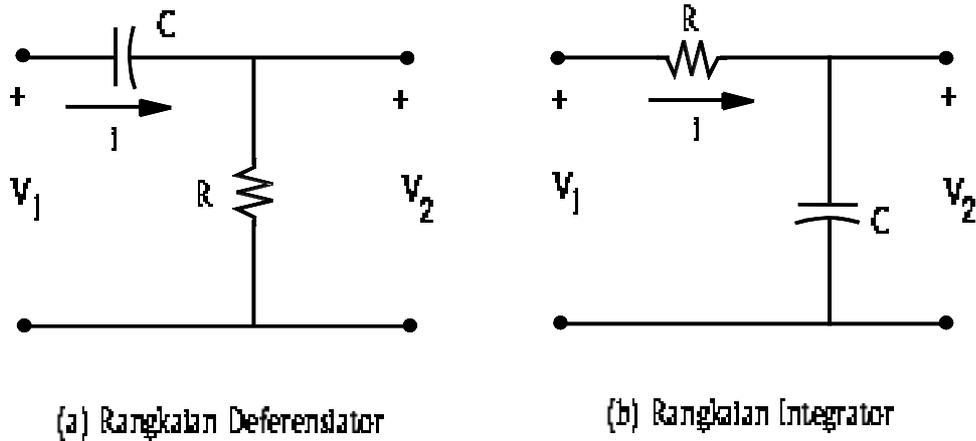
Dengan melakukan pendekatan dan menggunakan hk Kirchhoff tentang tegangan diperoleh:

$$v_1 = v_C + v_R \cong v_C \quad (4.10)$$

Jika  $v_R$  dianggap sangat kecil dibandingkan dengan  $v_C$ . Karena  $i_C = C dv_C / dt$ ,

$$v_2 = v_R = R i = RC \frac{dv_C}{dt} \cong RC \frac{dv_1}{dt} \quad (4.11)$$

Terlihat bahwa keluaran (*output*) proportional dengan derivatif dari masukan (*input*).



Gambar 4.6 Rangkaian RC sebagai deferensiator dan integrator

#### 4.6 Rangkaian Integrator

Rangkaian  $RC$  dapat juga digunakan sebagai rangkaian integrator seperti ditunjukkan pada gambar 4.6-b. Secara umum berlaku,

$$v_1 = v_R + v_C \cong v_R = iR \quad (4.12)$$

Jika  $v_C$  berharga sangat kecil dibandingkan dengan  $v_R$  (yaitu jika  $RC > T$ ). Karena tegangan kapasitor besarnya proporsional dengan integral  $i \cong v_1 / R$ ,

$$v_2 = \frac{1}{C} \int i \, dt \cong \frac{1}{RC} \int v_1 \, dt \quad (4.13)$$

dan keluaran merupakan harga integral dari masukan.