



Sudaryatno Sudirham

Analisis Rangkaian Listrik di Kawasan Waktu

#1

Bahan Kuliah Terbuka

dalam format pdf tersedia di

www.buku-e.lipi.go.id

dalam format pps beranimasi tersedia di

www.ee-cafe.org

Teori dan Soal ada di buku
Analisis Rangkaian Listrik Jilid 1
(pdf)

tersedia di
www.buku-e.lipi.go.id
dan
www.ee-cafe.org

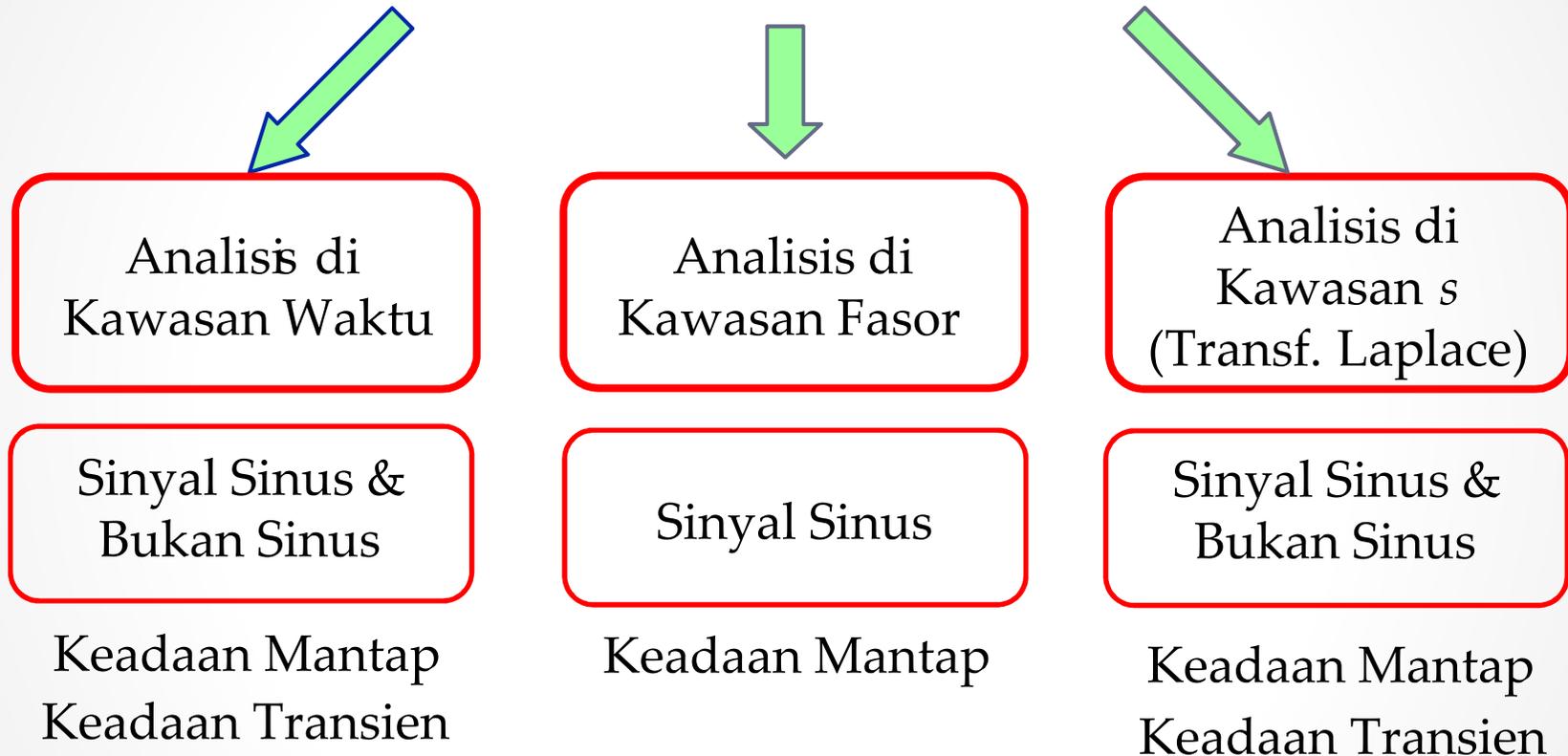
Isi Kuliah:

1. Pendahuluan
2. Besaran Listrik dan Peubah Sinyal
3. Model Sinyal
4. Model Piranti
5. Hukum-Hukum Dasar
6. Kaidah-Kaidah Rangkaian
7. Teorema Rangkaian
8. Metoda Analisis
9. Aplikasi Pada Rangkaian Pemroses Energi (Arus Searah)
10. Aplikasi Pada Rangkaian Pemroses Sinyal (Dioda & OpAmp)
11. Analisis Transien Rangkaian Orde-1
12. Analisis Transien Rangkaian Orde-2



1. Pendahuluan

Pembahasan Analisis Rangkaian Listrik Mencakup



- **Banyak kebutuhan manusia, seperti:**

- **Sandang**
- **Pangan**
- **Papan**
- **Kesehatan**
- **Keamanan**
- **Energi**
- **Informasi**
- **Pendidikan**
- **Waktu Senggang**
- **dll.**



**Sajian pelajaran ini
terutama terkait
pada upaya pemenuhan
kebutuhan energi dan
informasi**

Penyediaan Energi Listrik

Energi yang dibutuhkan manusia tersedia di alam,
tidak selalu dalam bentuk yang dibutuhkan

Energi di alam terkandung dalam berbagai bentuk sumber
energi primer:

- air terjun,
- batubara,
- minyak bumi,
- panas bumi,
- sinar matahari,
- angin,
- gelombang laut,
- dan lainnya.

sumber energi juga tidak selalu berada di tempat
ia dibutuhkan

Diperlukan konversi (pengubahan bentuk) energi.
Energi di alam yang biasanya berbentuk non listrik,
dikonversikan menjadi energi listrik.

Energi listrik dapat dengan lebih mudah

- disalurkan
- didistribusikan
- dikendalikan

Di tempat tujuan ia kemudian dikonversikan kembali ke
dalam bentuk yang sesuai dengan kebutuhan, energi

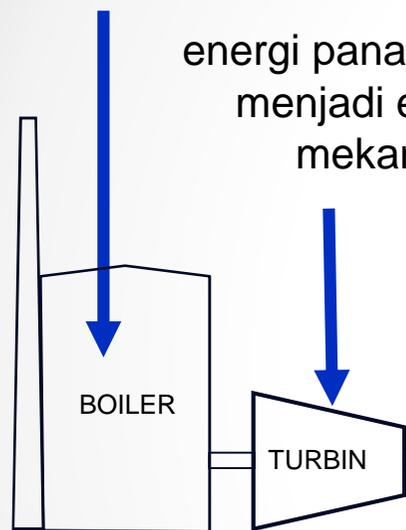
- mekanis,
- panas,
- cahaya,
- kimia.

Penyediaan energi listrik dilakukan melalui serangkaian tahapan:

Berikut ini kita lihat salah satu contoh, mulai dari pengubahan energi, penyaluran, sampai pendistribusian ke tempat-tempat yang memerlukan

energi kimia diubah menjadi energi panas

energi panas diubah menjadi energi mekanis



energi mekanis diubah menjadi energi listrik

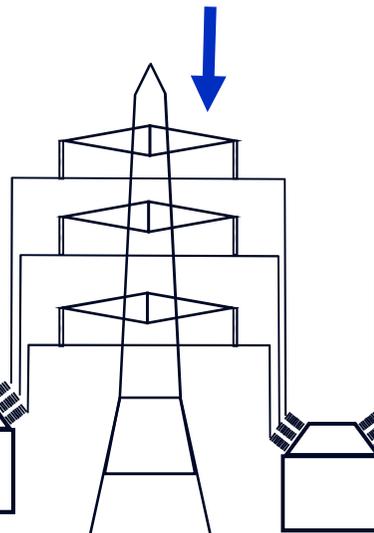
GENERATOR



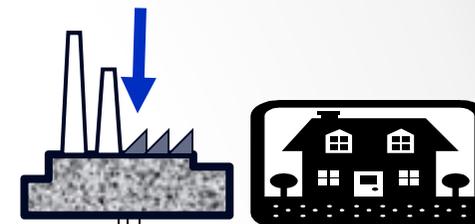
TRANSFORMATOR

energi listrik diubah menjadi energi listrik pada tegangan yang lebih tinggi

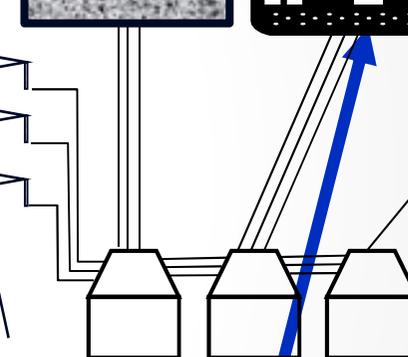
energi listrik ditransmisikan



pengguna tegangan tinggi



pengguna tegangan menengah



pengguna tegangan rendah

GARDU DISTRIBUSI

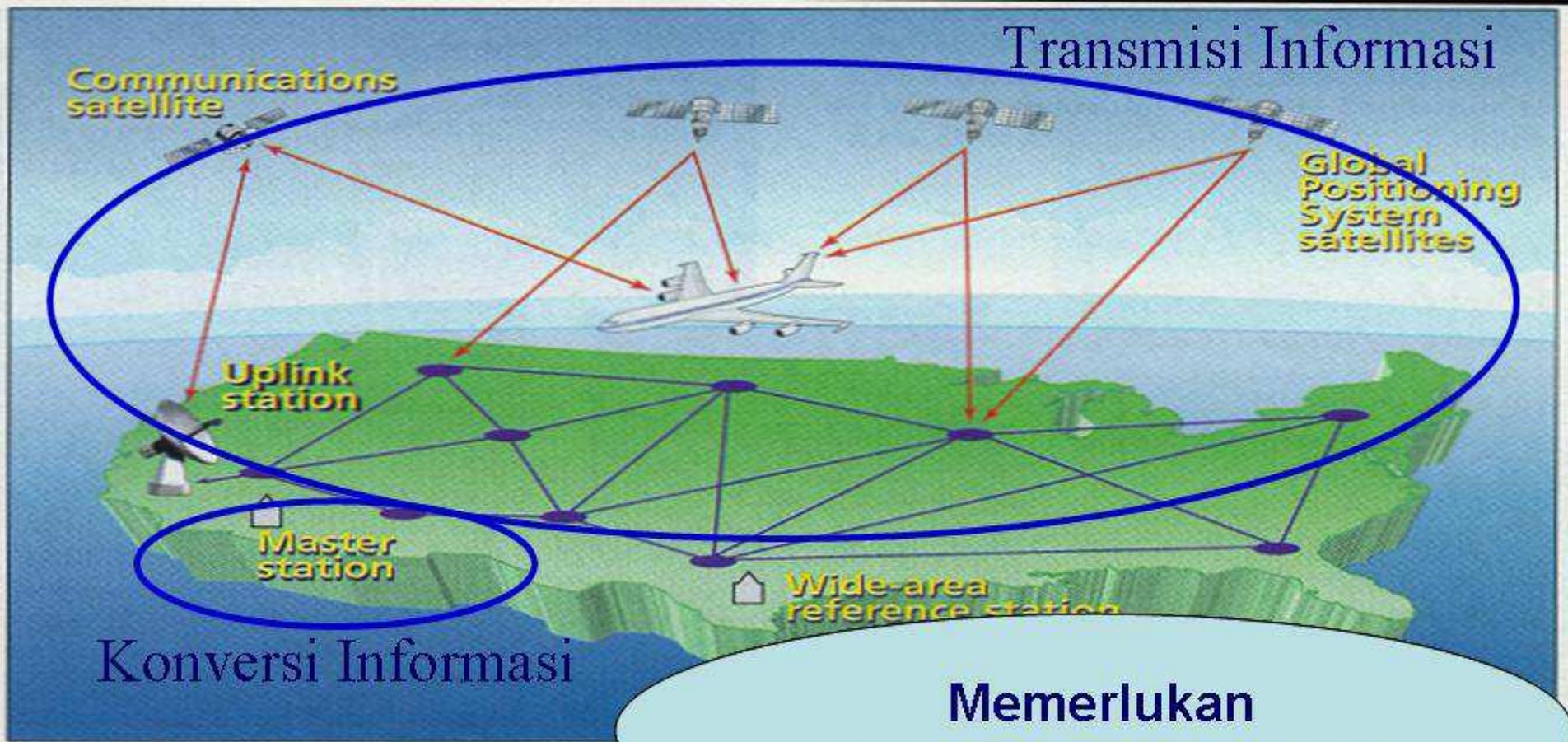
Penyediaan Informasi

- informasi ada dalam berbagai bentuk
 - tersedia di di berbagai tempat
 - tidak selalu berada di tempat di mana ia dibutuhkan
-
- ❖ Berbagai bentuk informasi dikonversikan ke dalam bentuk sinyal listrik
 - ❖ Sinyal listrik disalurkan ke tempat ia dibutuhkan

Sampai di tempat tujuan sinyal listrik dikonversikan kembali ke dalam bentuk yang dapat ditangkap oleh indera manusia ataupun dimanfaatkan untuk suatu keperluan lain (pengendalian misalnya).

Penyediaan Informasi

Jika dalam penyediaan energi kita memerlukan mesin-mesin besar untuk mengubah energi yang tersedia di alam menjadi energi listrik, dalam penyediaan informasi kita memerlukan rangkaian elektronika untuk mengubah informasi menjadi sinyal-sinyal listrik agar dapat dikirimkan dan didistribusikan untuk berbagai keperluan.



Transmisi Informasi

Communications satellite

Global Positioning System satellites

Uplink station

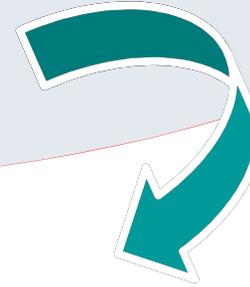
Master station

Wide-area reference station

Konversi Informasi

Memerlukan
Komponen Elektronika

*Pemrosesan Energi dan
Pemrosesan Informasi*
dilaksanakan dengan memanfaatkan
rangkaian listrik



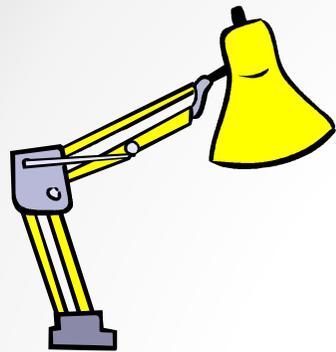
Rangkaian listrik merupakan interkoneksi berbagai piranti yang secara bersama melaksanakan tugas tertentu

Untuk mempelajari perilaku suatu rangkaian listrik kita melakukan *analisis rangkaian listrik*

Untuk keperluan analisis:

- rangkaian listrik dipindahkan ke atas kertas dalam bentuk gambar.
- piranti-piranti dalam rangkaian listrik dinyatakan dengan menggunakan **simbol-simbol**
- untuk membedakan dengan piranti yang nyata, simbol ini kita sebut **elemen**

Gambar rangkaian listrik disebut **diagram rangkaian,**



Piranti

Diagram Pangkaian



Elemen
(Simbol Piranti)



Perubahan besaran fisis yang terjadi dalam rangkaian kita nyatakan dengan *model matematis* yang kita sebut ***model sinyal***

Perilaku piranti kita nyatakan dengan *model matematis* yang kita sebut ***model piranti***

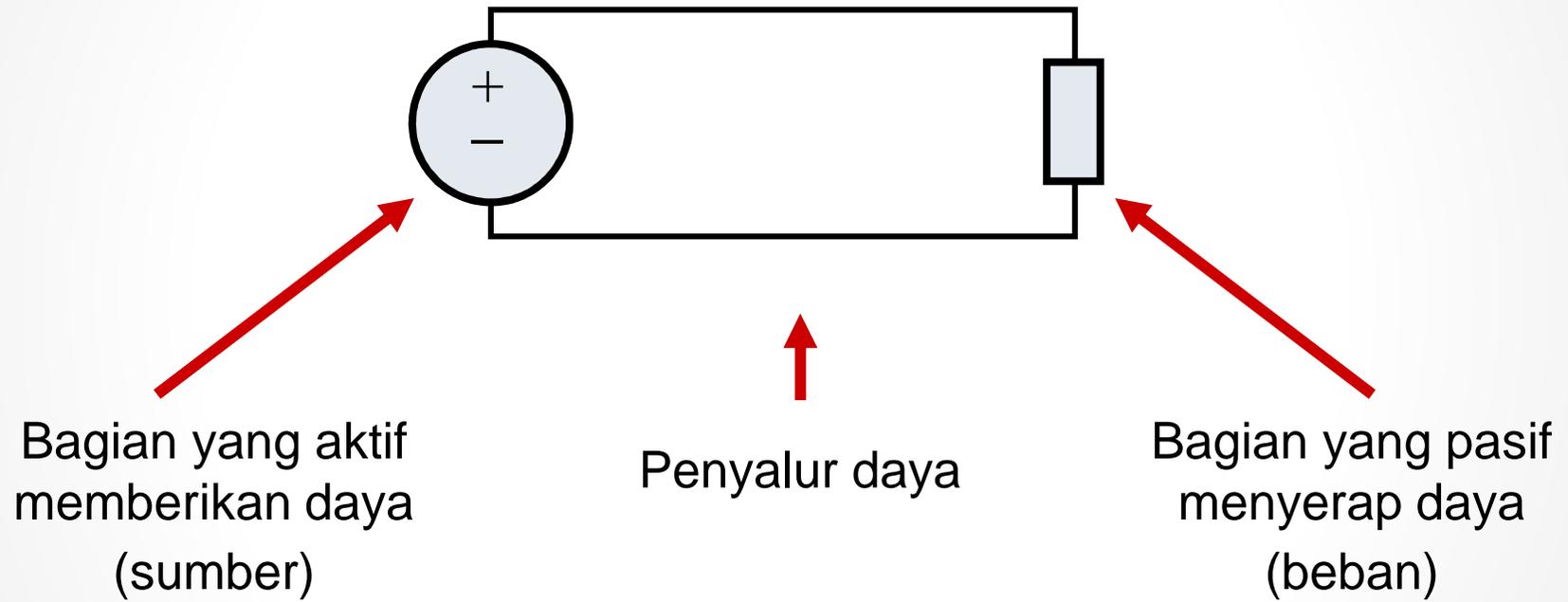
Struktur Dasar Rangkaian Listrik

Struktur suatu rangkaian listrik pada dasarnya terdiri dari tiga bagian, yaitu

Sumber

Saluran

Beban



Dalam kenyataan, rangkaian listrik tidaklah sederhana

Jaringan listrik perlu dilindungi dari berbagai kejadian tidak normal yang dapat menyebabkan kerusakan piranti.

Jaringan perlu sistem proteksi untuk mencegah kerusakan

Jaringan listrik juga memerlukan sistem pengendali untuk mengatur aliran energi ke beban.

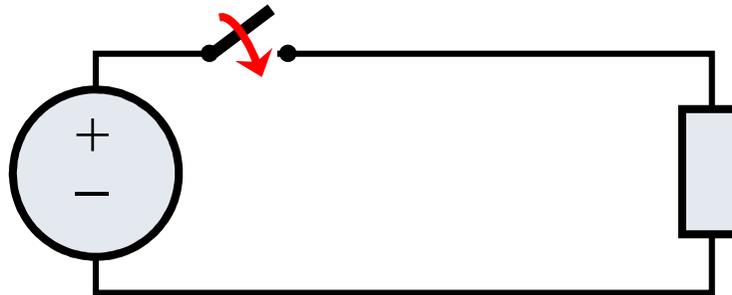


Pada jaringan penyalur energi listrik, sumber mengeluarkan daya sesuai dengan permintaan beban. Saluran energi juga menyerap daya.

Pada rangkaian penyalur informasi, daya sumber terbatas. Oleh karena itu alih daya ke beban perlu diusahakan semaksimal mungkin.

Alih daya ke beban akan maksimal jika tercapai *matching* (kesesuaian) antara sumber dan beban.

Keadaan transien



Kondisi operasi rangkaian tidak selalu mantap.

Pada waktu-waktu tertentu bisa terjadi keadaan peralihan atau

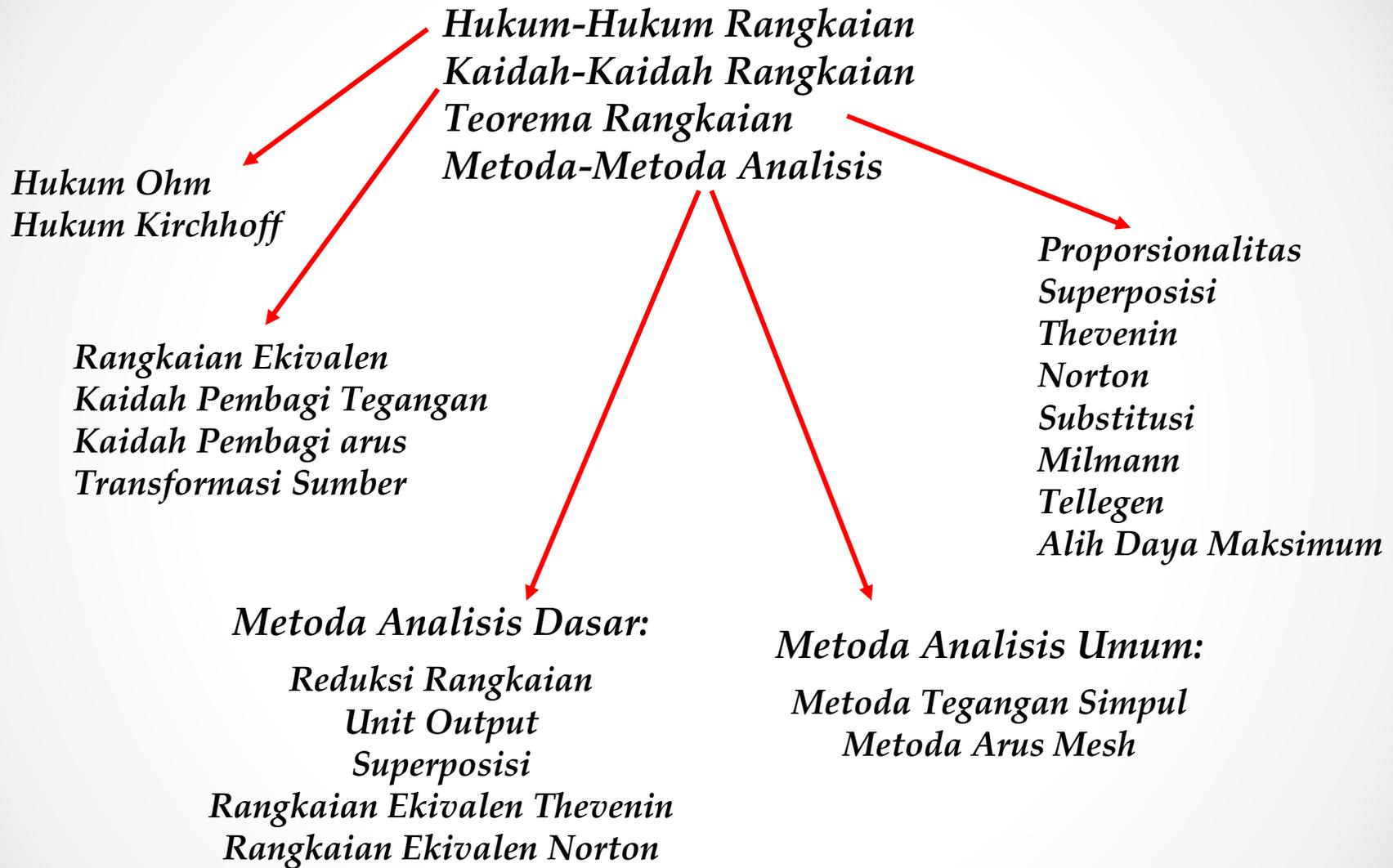
keadaan transien

Misal: pada waktu penutupan saklar

Landasan Untuk Melakukan Analisis

**Untuk melakukan analisis rangkaian
kita memerlukan pengetahuan dasar sebagai
pendukung.**

**Pengetahuan dasar yang kita perlukan ada empat
kelompok.**





2. Besaran Listrik Dan Peubah Sinyal

Dua besaran fisika yang menjadi *besaran dasar* dalam kelistrikan adalah

Muatan [satuan: coulomb]

Energi [satuan: joule]

Akan tetapi kedua besaran dasar ini tidak dilibatkan langsung dalam pekerjaan analisis

Yang dilibatkan langsung dalam pekerjaan analisis adalah

arus

tegangan

daya

ketiga besaran ini mudah diukur sehingga sesuai dengan praktik *engineering* dan akan kita pelajari lebih lanjut

Sinyal Waktu Kontinu & Sinyal Waktu Diskrit

- Sinyal listrik pada umumnya merupakan fungsi waktu, t , dan dapat kita bedakan dalam dua macam bentuk sinyal yaitu
 - ***sinyal waktu kontinu*** atau ***sinyal analog***
 - ***sinyal waktu diskrit***

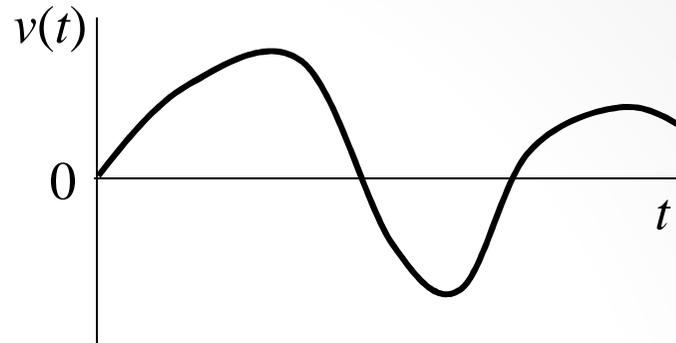


Sinyal waktu diskrit mempunyai nilai hanya pada t tertentu yaitu t_n dengan t_n mengambil nilai dari satu set *bilangan bulat*

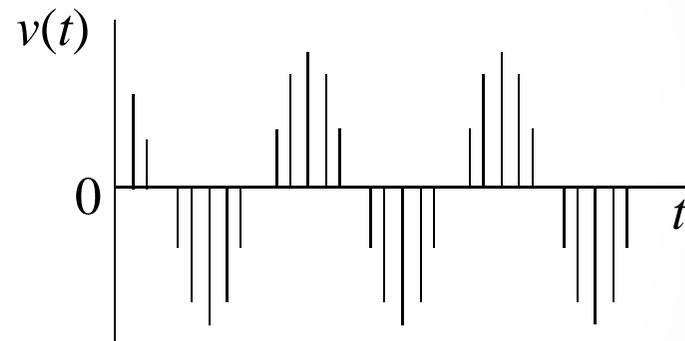


Sinyal waktu kontinu mempunyai nilai untuk setiap t dan t sendiri mengambil nilai dari satu set *bilangan riil*

Sinyal waktu kontinyu
(sinyal analog)



Sinyal waktu diskrit



Dalam pelajaran ini kita akan mempelajari rangkaian dengan sinyal waktu kontinyu atau sinyal analog, dan rangkaiannya kita sebut rangkaian analog.

Rangkaian dengan sinyal *diskrit* akan kita pelajari tersendiri.

Peubah Sinyal

Perubahan besaran fisis yang kita olah dalam analisis rangkaian kita sebut **peubah sinyal**.

Peubah-peubah sinyal dalam analisis rangkaian adalah:

- arus
- tegangan
- daya

Besaran yang dilibatkan langsung dalam pekerjaan analisis disebut *peubah sinyal* yaitu:

arus

dengan simbol: i
satuan: ampere [A]
(coulomb/detik)

tegangan

dengan simbol: v
satuan: volt [V]
(joule/coulomb)

daya

dengan simbol: p
satuan: watt [W]
(joule/detik)

Tiga peubah sinyal ini tetap kita sebut sebagai sinyal, baik untuk rangkaian yang bertugas melakukan pemrosesan energi maupun pemrosesan sinyal.

Arus

Simbol: i , Satuan: ampere [A]

Arus adalah laju perubahan muatan:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Apabila melalui satu piranti mengalir muatan sebanyak 1 coulomb setiap detiknya, maka arus yang mengalir melalui piranti tersebut adalah 1 ampere

1 ampere = 1 coulomb per detik

Tegangan

Simbol: v Satuan: volt [V]

Tegangan adalah energi per satuan muatan:

$$v = \frac{dw}{dq}$$

Apabila untuk memindahkan 1 satuan muatan dari satu titik ke titik yang lain diperlukan energi 1 joule, maka beda tegangan antara dua titik tersebut adalah 1 volt

1 volt = 1 joule per coulomb

Daya

Simbol: p , Satuan: watt [W]

Daya adalah laju perubahan energi:

$$p = \frac{dw}{dt}$$

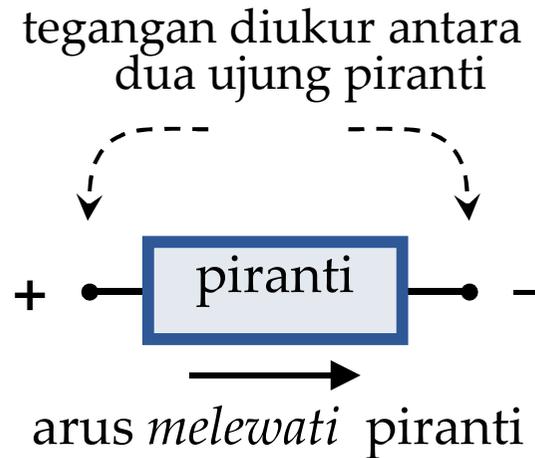
Apabila suatu piranti menyerap energi sebesar 1 joule setiap detiknya, maka piranti tersebut menyerap daya 1 watt

1 watt = 1 joule per detik

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = vi$$

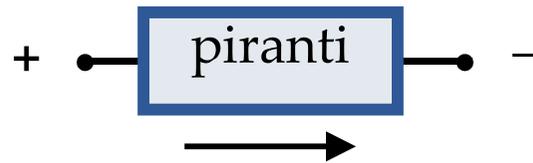
Referensi Sinyal

Perhitungan-perhitungan dalam analisis bisa menghasilkan bilangan positif ataupun negatif, tergantung dari pemilihan referensi sinyal



Konvensi Pasif:

Referensi tegangan dinyatakan dengan tanda
“+” dan “-”
di ujung simbol piranti;



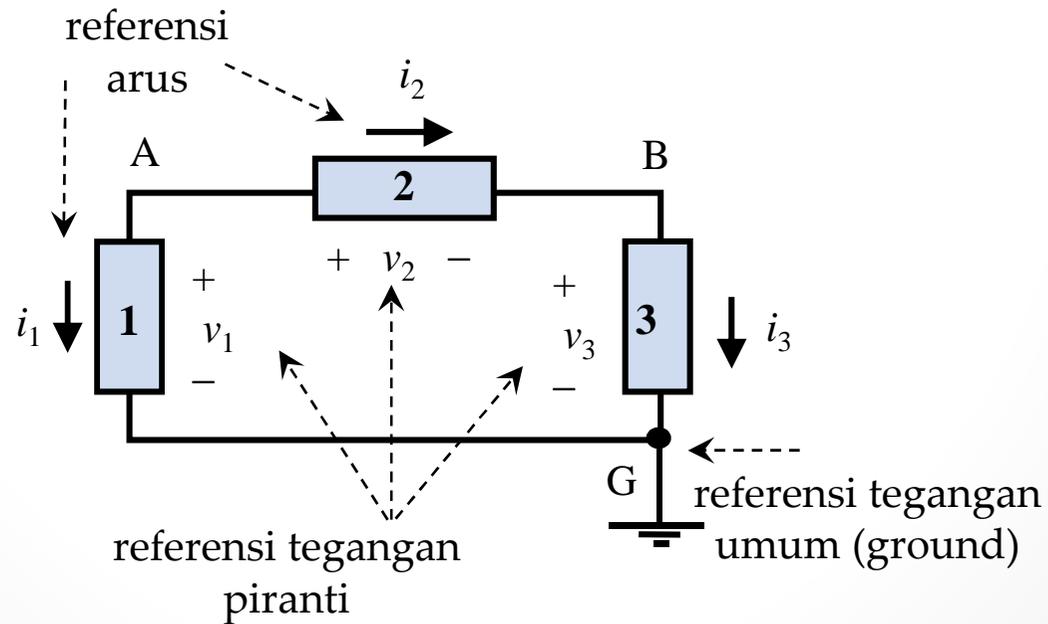
Arah arus digambarkan *masuk ke elemen* pada titik
yang bertanda “+”.

Referensi tegangan dinyatakan dengan tanda “+” dan “-” di ujung simbol piranti; ujung dengan tanda “+” dianggap memiliki tegangan (potensial) lebih tinggi dibanding ujung yang bertanda “-”. Jika dalam perhitungan diperoleh angka negatif, hal itu berarti tegangan piranti dalam rangkaian sesungguhnya lebih tinggi pada ujung yang bertanda “-”.

Referensi arus dinyatakan dengan anak panah. Arah anak panah dianggap menunjukkan arah positif arus. Jika dalam perhitungan diperoleh angka negatif, hal itu berarti arus pada piranti dalam rangkaian sesungguhnya berlawanan dengan arah referensi.

Titik referensi tegangan umum

Suatu simpul (titik hubung dua atau lebih piranti) dapat dipilih sebagai titik *referensi tegangan umum* dan diberi simbol “pentanahan”. Titik ini dianggap memiliki tegangan nol. Tegangan simpul-simpul yang lain dapat dinyatakan relatif terhadap referensi umum ini.



Dengan konvensi pasif ini maka:

daya positif berarti piranti menyerap daya

daya negatif berarti piranti memberikan daya

(isilah kotak yang kosong)

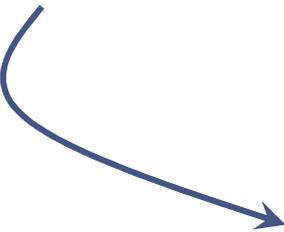
Piranti	v [V]	i [A]	p [W]	menerima/ memberi daya
A	12	5		
B	24	-3		
C	12		72	
D		-4	96	
E	24		72	

Muatan

Simbol: q Satuan: coulomb [C]

Muatan, yang tidak dilibatkan langsung dalam analisis, diperoleh dari arus

Arus $i = \frac{dq}{dt}$



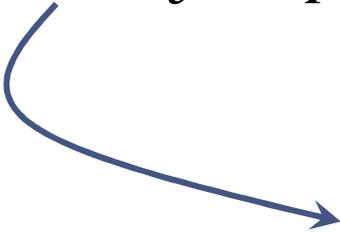
Muatan $q = \int_{t_1}^{t_2} i dt$

Energi

Simbol: w Satuan: joule [J]

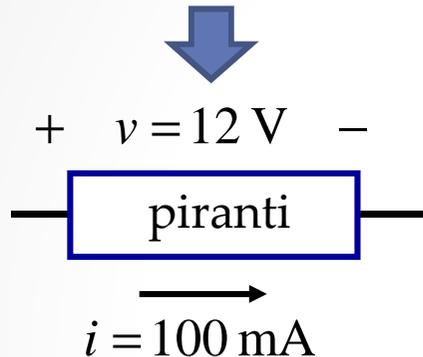
Energi, yang tidak dilibatkan langsung dalam analisis,
diperoleh dari daya

Daya $p = \frac{dw}{dt}$

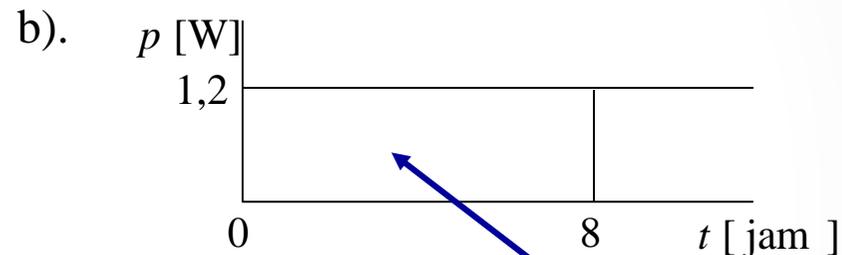


Energi $w = \int_{t_1}^{t_2} p dt$

CONTOH: Tegangan pada suatu piranti adalah 12 V (konstan) dan arus yang mengalir padanya adalah 100 mA. a). Berapakah daya yang diserap ? b). Berapakah energi yang diserap selama 8 jam? c). Berapakah jumlah muatan yang dipindahkan melalui piranti tersebut selama 8 jam itu?

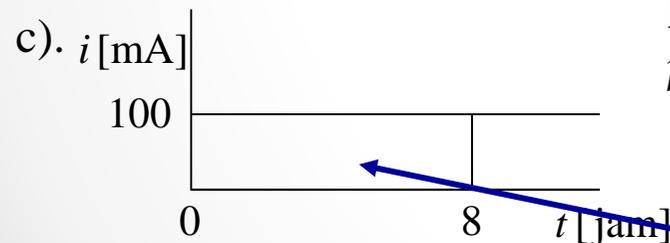


a). $p = vi = 12 \times 100 \times 10^{-3} = 1,2 \text{ W}$



$$w = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_0^8 1,2 dt = 1,2t \Big|_0^8 = 1,2(8 - 0) = 9,6 \text{ Wh}$$

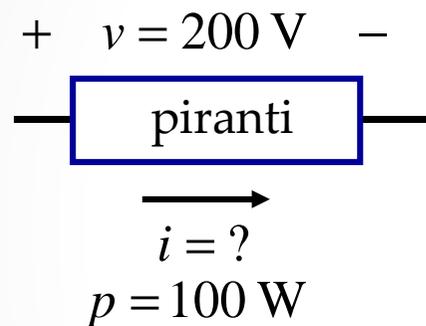
Ini adalah luas bidang yang dibatasi oleh garis $p = 1,2 \text{ W}$, dan t antara 0 dan 8 jam



Ini adalah luas bidang yang dibatasi oleh garis $i = 100 \text{ mA}$, dan t antara 0 dan 8 jam

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i dt = \int_0^8 100 \times 10^{-3} dt = 100 \times 10^{-3} t \Big|_0^8 = 0,1(8 - 0) = 0,8 \text{ Ah}$$

CONTOH: Sebuah piranti menyerap daya 100 W pada tegangan 200V (konstan). Berapakah besar arus yang mengalir dan berapakah energi yang diserap selama 8 jam ?



$$i = \frac{p}{v} = \frac{100}{200} = 0,5 \text{ A}$$

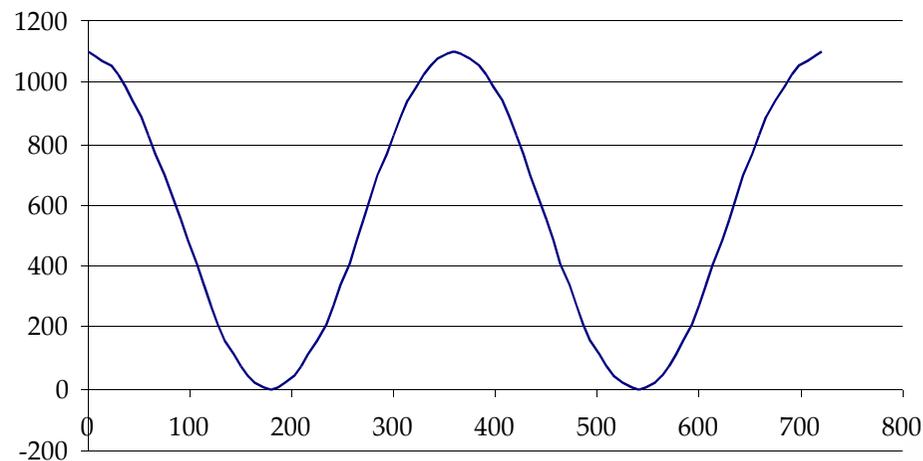
$$w = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_0^8 100 dt = 100t \Big|_0^8 = 800 \text{ Wh} = 0,8 \text{ kWh}$$

CONTOH: Arus yang melalui suatu piranti berubah terhadap waktu sebagai $i(t) = 0,05t$ ampere. Berapakah jumlah muatan yang dipindahkan melalui piranti ini antara $t = 0$ sampai $t = 5$ detik ?

$$q = \int_0^5 i dt = \int_0^5 0,05t dt = \frac{0,05}{2} t^2 \Big|_0^5 = \frac{1,25}{2} = 0,625 \text{ coulomb}$$

CONTOH: Tegangan pada suatu piranti berubah terhadap waktu sebagai $v = 220\cos 400t$ dan arus yang mengalir adalah $i = 5\cos 400t$ A.
a). Bagaimanakah variasi daya terhadap waktu ? b). Berapakah nilai daya maksimum dan daya minimum ?

$$\begin{aligned} \text{a). } p &= v \times i = 220 \cos 400t \times 5 \cos 400t = 1100 \cos^2 400t \text{ W} \\ &= 550(1 + \cos 800t) = 550 + 550 \cos 800t \text{ W} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{b). Nilai daya : } p_{\text{maksimum}} &= 550 + 550 = 1100 \text{ W} \\ p_{\text{minimum}} &= 550 - 550 = 0 \text{ W} \end{aligned}$$

CONTOH: Tegangan pada suatu piranti berubah terhadap waktu sebagai $v = 220\cos 400t$ V dan arus yang mengalir adalah $i = 5\sin 400t$ A.
a). Bagaimanakah variasi daya terhadap waktu ? b). Tunjukkan bahwa piranti ini menyerap daya pada suatu selang waktu tertentu dan memberikan daya pada selang waktu yang lain. c). Berapakah daya maksimum yang diserap ? d). Berapa daya maksimum yang diberikan ?

a). $p = 220 \cos 400t \times 5 \sin 400t = 1100 \sin 400t \cos 400t = 550 \sin 800t$ W

b). daya merupakan fungsi sinus. Selama setengah perioda daya bernilai positif dan selama setengah perioda berikutnya ia bernilai negatif. Jika pada waktu daya bernilai positif mempunyai arti bahwa piranti menyerap daya, maka pada waktu bernilai negatif berarti piranti memberikan daya

c). $P_{maks\ diserap} = 550$ W

d). $P_{maks\ diberikan} = 550$ W



Pernyataan Sinyal

Kita mengenal berbagai pernyataan tentang sinyal

Sinyal periodik & Sinyal Aperiodik

Sinyal Kausal & Non-Kausal

Nilai sesaat

Amplitudo

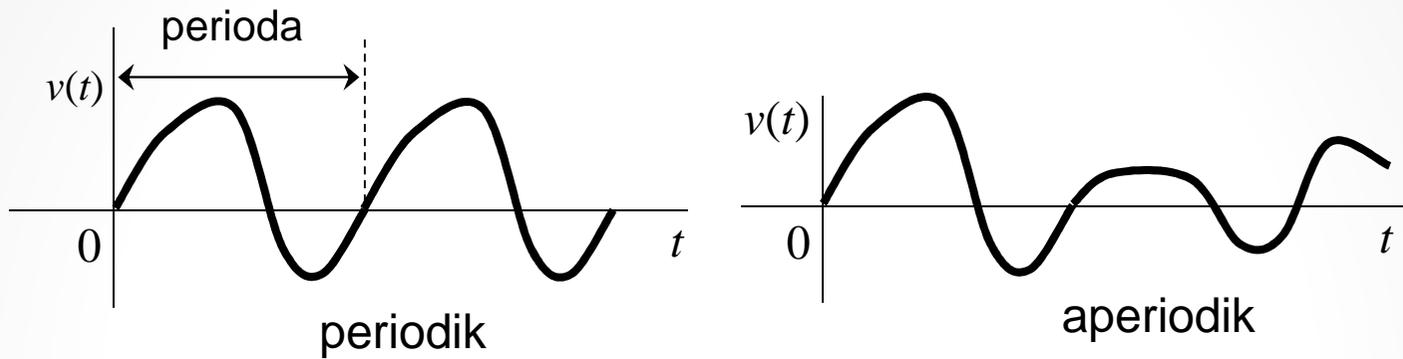
Nilai amplitudo puncak ke puncak (peak to peak value)

Nilai puncak

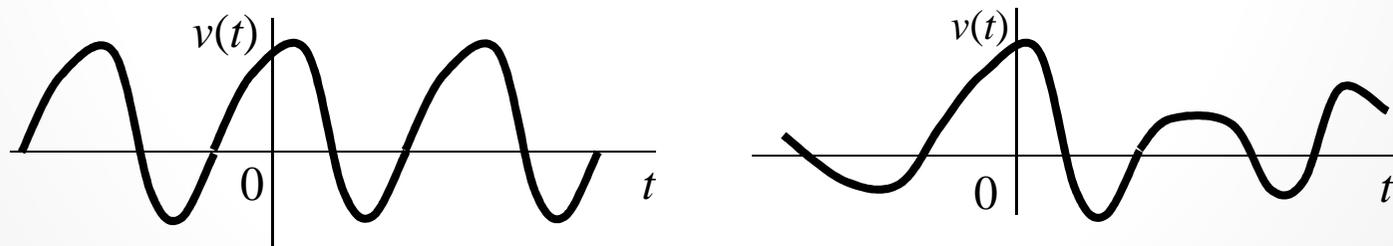
Nilai rata-rata

Nilai efektif (nilai rms ; rms value)

Sinyal kausal, berawal di $t = 0$

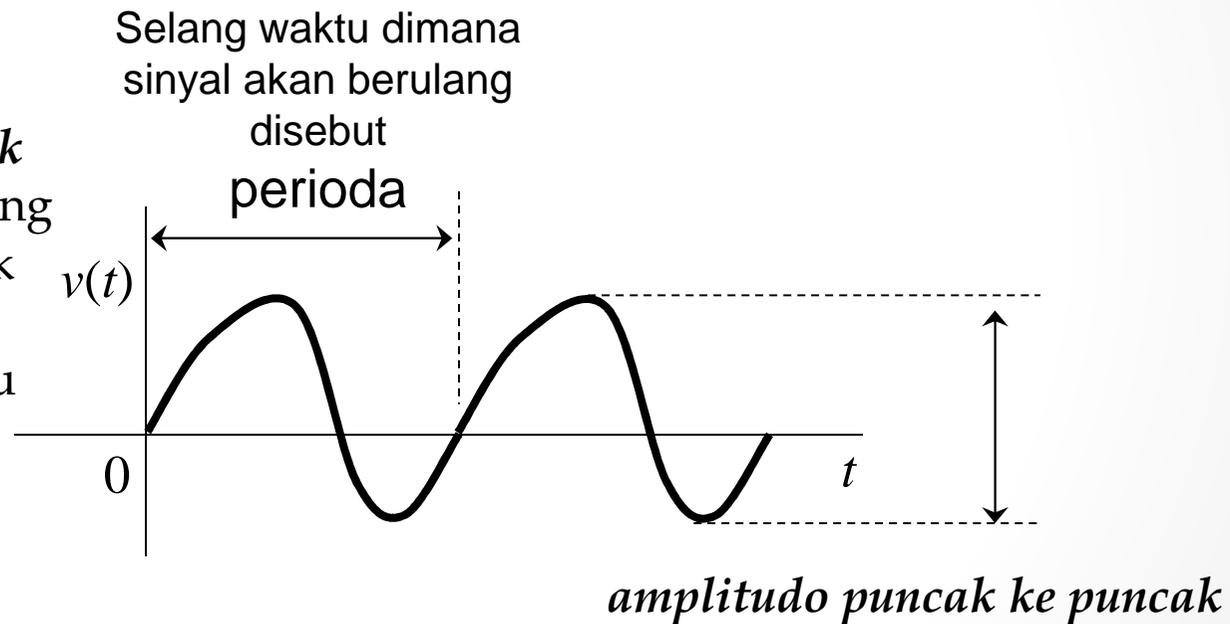


Sinyal non-kausal, berawal di $t = -\infty$

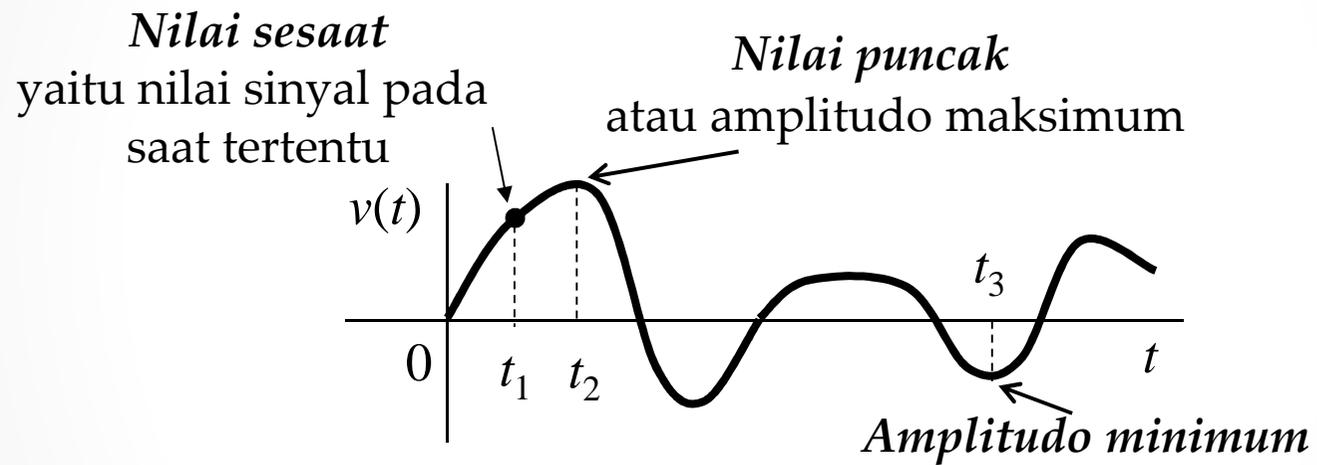


Periode dan Amplitudo Sinyal

Sinyal periodik
Sinyal ini berulang
secara periodik
setiap selang
waktu tertentu



Nilai-Nilai Sinyal

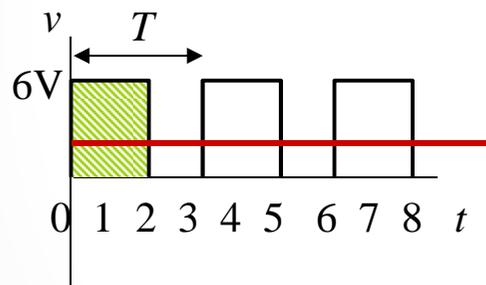


Nilai Rata-Rata Sinyal

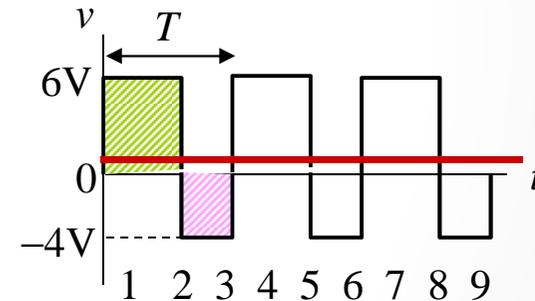
Definisi:
$$V_{rr} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(x) dx$$

Integral sinyal selama satu perioda dibagi perioda

CONTOH:



$$\begin{aligned} V_{rr} &= \frac{1}{3} \int_0^3 v(t) dt = \frac{1}{3} \int_0^2 6 dt \\ &= \frac{1}{3} (6t) \Big|_0^2 = \frac{1}{3} (12 - 0) = 4 \text{ V} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} V_{rr} &= \frac{1}{3} \int_0^3 v(t) dt = \frac{1}{3} \left(\int_0^2 6 dt - \int_2^3 6 dt \right) \\ &= \frac{1}{3} \left\{ (6t) \Big|_0^2 - (6t) \Big|_2^3 \right\} = 4 - 2 = 2 \text{ V} \end{aligned}$$

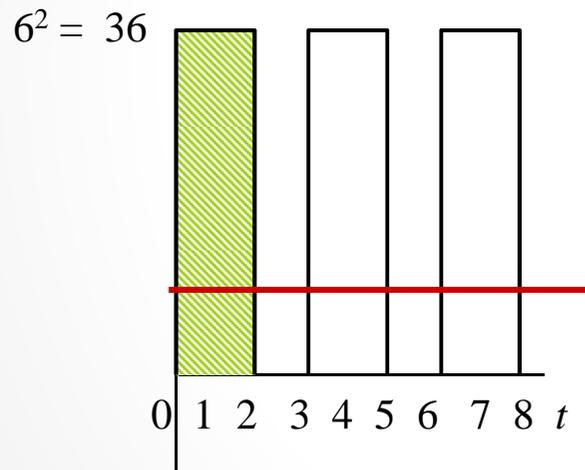
Nilai efektif (rms)

Definisi:

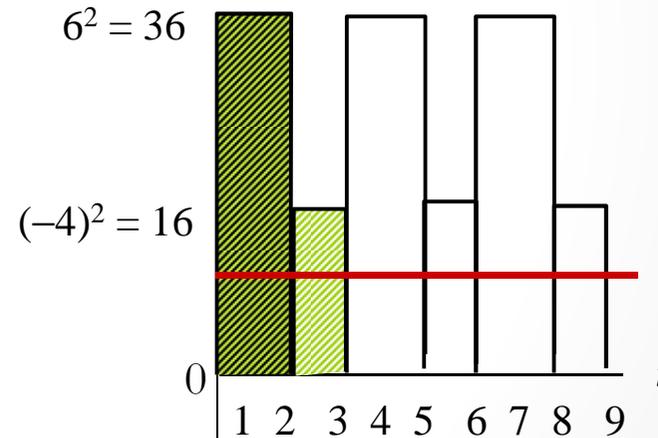
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [v(t)]^2 dt}$$

Akar dari integral kuadrat sinyal selama satu perioda yang dibagi oleh perioda

CONTOH: nilai efektif dari sinyal pada contoh sebelumnya

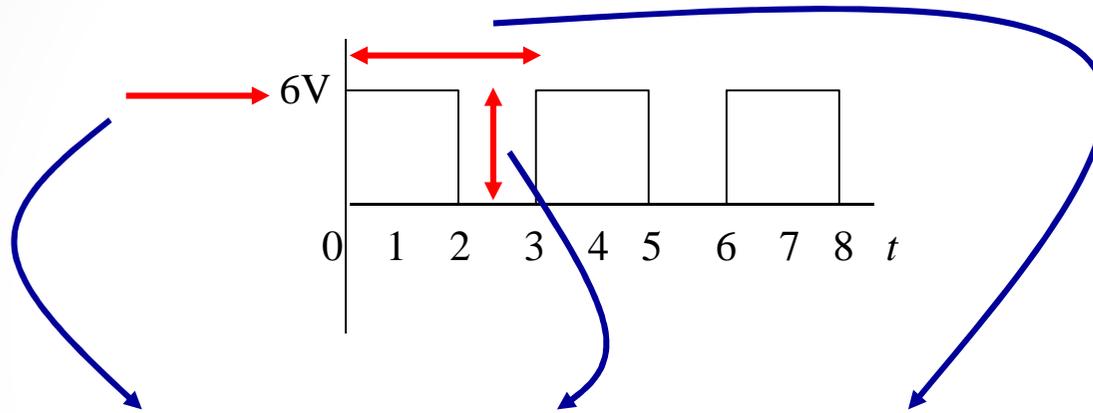


$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{3} \int_0^2 6^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{3} (36t) \Big|_0^2} = \sqrt{\frac{72}{3}} \text{ V}$$



$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\int_0^2 6^2 dt + \int_2^3 4^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{3} (72 + 16)} = \sqrt{\frac{88}{3}} \text{ V}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai, tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda (T), tegangan rata-rata (V_{rr}), dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan berikut ini.

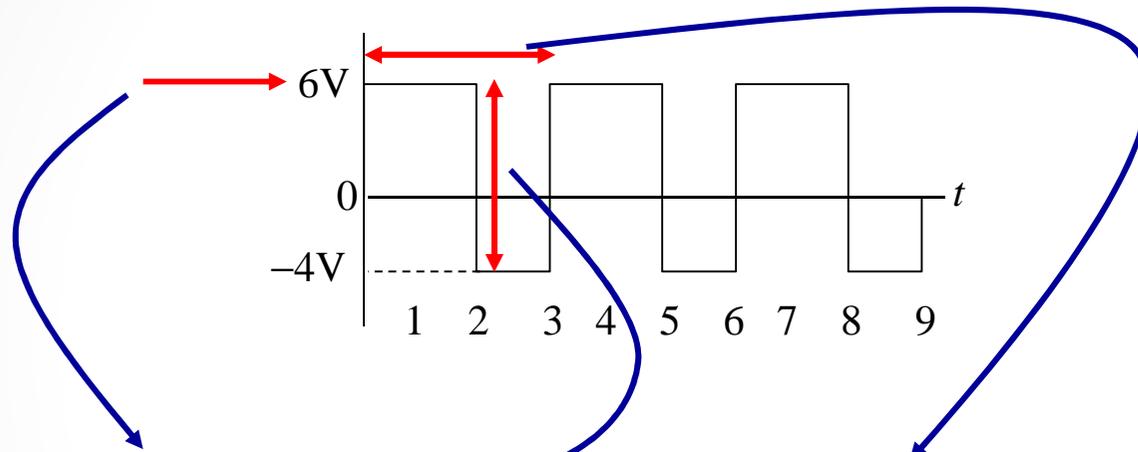


$$V_p = 6 \text{ V} \quad ; \quad V_{pp} = 6 \text{ V} \quad ; \quad T = 3 \text{ s}$$

$$V_{rr} = \frac{1}{3} \left(\int_0^2 6 dt + \int_2^3 0 dt \right) = \frac{1}{3} (6 \times 2 + 0) = 4 \text{ V}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\int_0^2 6^2 dt + \int_2^3 0^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{3} (36 \times 2 + 0)} = 4,9 \text{ V}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda (T), tegangan rata-rata (V_{rr}), dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan berikut ini.

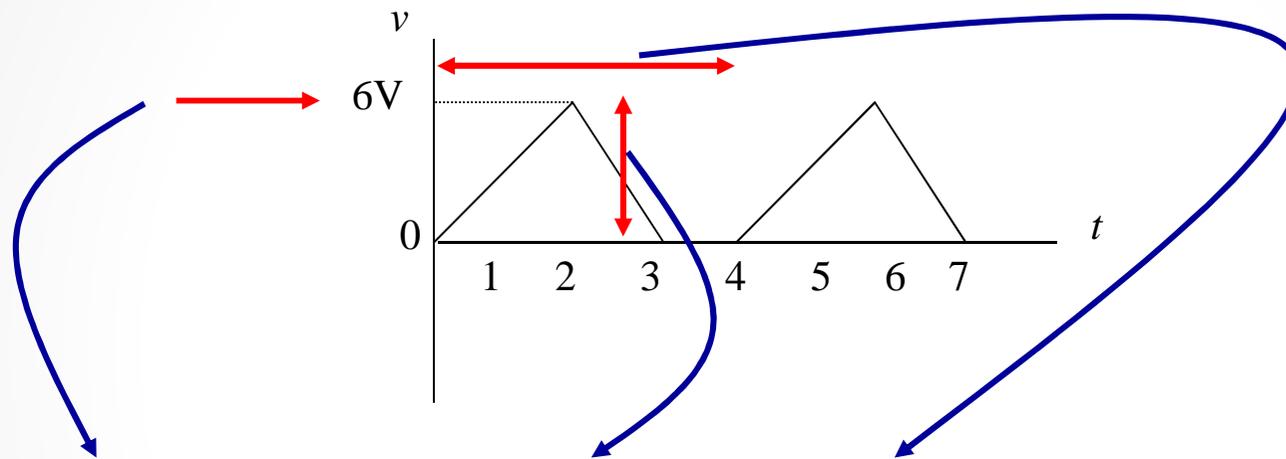


$$V_p = 6 \text{ V} \quad ; \quad V_{pp} = 10 \text{ V} \quad ; \quad T = 3 \text{ s}$$

$$V_{rr} = \frac{1}{3} \left(\int_0^2 6 dt + \int_2^3 -4 dt \right) = \frac{1}{3} (6 \times 2 - 4 \times 1) = 2,66 \text{ V}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\int_0^2 6^2 dt + \int_2^3 (-4)^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{3} (36 \times 2 + 16 \times 1)} = 5,42 \text{ V}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda (T), tegangan rata-rata (V_{rr}), dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan berikut ini

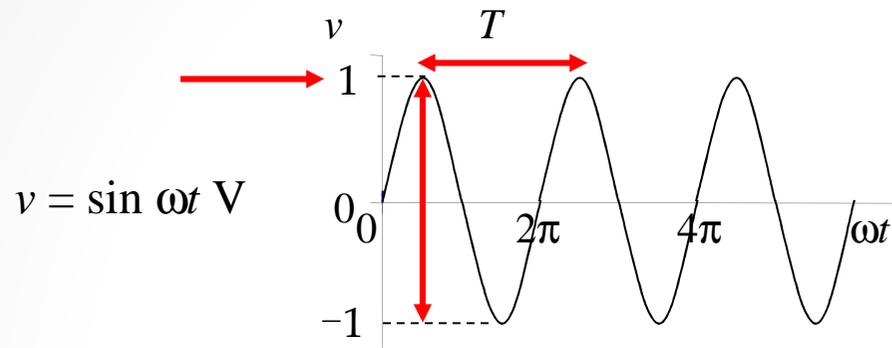


$$V_p = 6 \text{ V} \quad ; \quad V_{pp} = 6 \text{ V} \quad ; \quad T = 4 \text{ s}$$

$$V_{rr} = \frac{1}{4} \left(\int_0^2 3t dt + \int_2^3 (6 - 6(t-2)) dt + \int_3^4 0 dt \right) = \frac{1}{4} \left(\frac{6 \times 3}{2} \right) = 2,25 \text{ V}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\int_0^2 9t^2 dt + \int_2^3 (6 - 6(t-2))^2 dt + \int_3^4 0^2 dt \right)} = 3,0 \text{ V}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda, tegangan rata-rata, dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan sinus ini



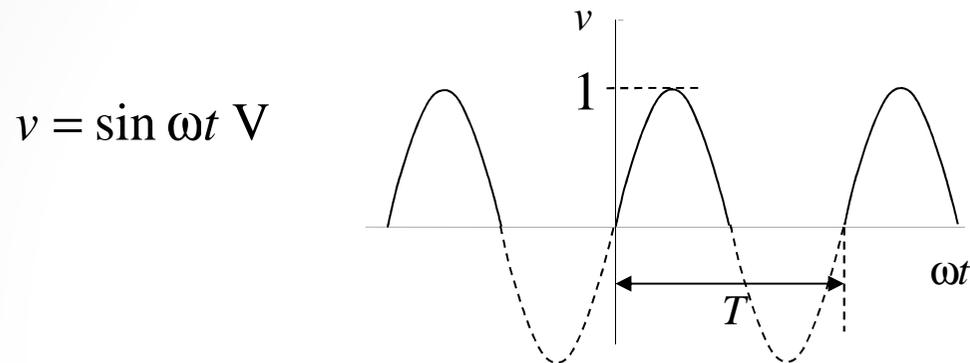
$$\begin{aligned} V_p &= 1 \text{ V}; \\ V_{pp} &= 2 \text{ V}; \\ T &= 2\pi; \\ V_{rr} &= 0 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d \sin x \cos x}{dx} &= -\sin^2 x + \cos^2 x \\ 1 &= \sin^2 x + \cos^2 x \end{aligned} \right\} \begin{aligned} 1 - \frac{d(\sin x \cos x)}{dx} &= 2 \sin^2 x \\ \Rightarrow \frac{dx - d(\sin x \cos x)}{2} &= \sin^2 x dx \end{aligned} \Rightarrow \int \frac{dx - d(\sin x \cos x)}{2} = \int \sin^2 x dx$$

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{2} \sin \omega t \cos \omega t \right) \Big|_0^{2\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{2\pi}{2} - \frac{1}{2} (0 - 0) \right)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ V} \end{aligned}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda (T), tegangan rata-rata (V_{rr}), dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan berikut ini



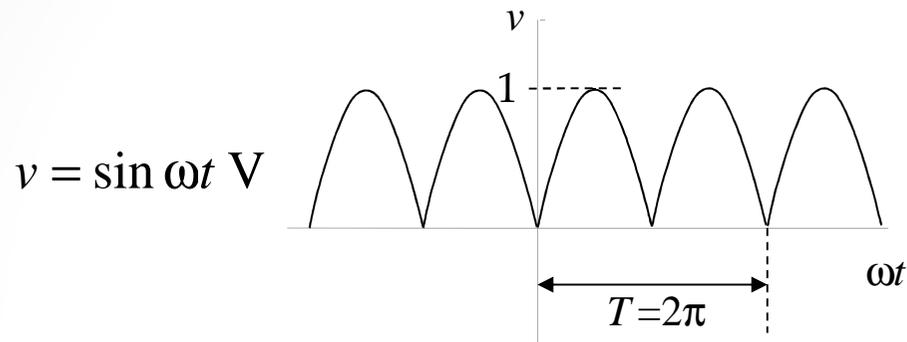
$$V_p = 1 \text{ V}; \quad V_{pp} = 1 \text{ V}; \quad T = 2\pi;$$

$$V_{rr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{2\pi} \times (\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{1}{2\pi} \times (-1 + 1) = \frac{1}{\pi}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{2} \sin \omega t \cos \omega t \right) \Big|_0^{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \times \left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} (0 - 0) \right)} = \frac{1}{2} \text{ V}$$

CONTOH: Tentukanlah nilai tegangan puncak (V_p), tegangan puncak-puncak (V_{pp}), perioda (T), tegangan rata-rata (V_{rr}), dan tegangan efektif dari bentuk gelombang tegangan berikut ini



$$V_p = 1 \text{ V}; \quad V_{pp} = 1 \text{ V}; \quad T = 2\pi;$$

$$V_{rr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{\pi} \times (\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{1}{2\pi} \times (-1 + 1) = \frac{2}{\pi} \text{ V}$$

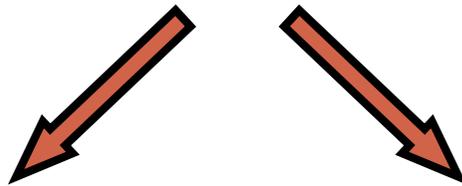
$$\begin{aligned} V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{2 \times \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{2 \times \frac{1}{\pi} \times \left(\frac{\omega t}{2} - \frac{1}{2} \sin \omega t \cos \omega t \right) \Big|_0^{\pi}} \\ &= \sqrt{2 \times \frac{1}{\pi} \times \left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} (0 - 0) \right)} = 1 \text{ V} \end{aligned}$$



3. Model Sinyal

Bentuk gelombang sinyal adalah suatu persamaan atau suatu grafik yang menyatakan sinyal sebagai fungsi dari waktu.

Ada dua macam bentuk gelombang, yaitu:



Bentuk Gelombang Dasar

Hanya ada 3 macam bentuk gelombang dasar yaitu:

Anak tangga (step)

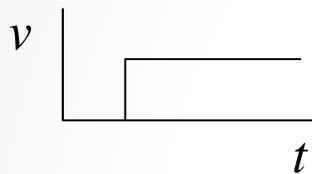
Eksponensial

Sinus

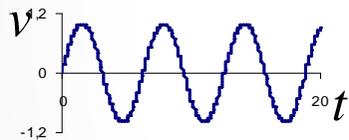
Bentuk Gelombang Komposit

Bentuk gelombang komposit merupakan kombinasi (penjumlahan, pengurangan, perkalian) dari bentuk gelombang dasar.

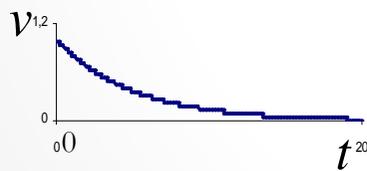
Tiga Bentuk Gelombang Dasar



Anak tangga

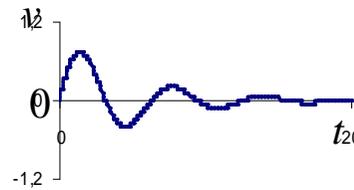


Sinus

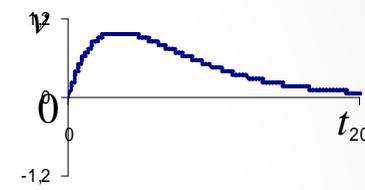


Eksponensial

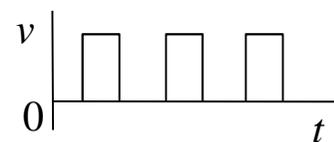
Contoh Bentuk Gelombang Komposit



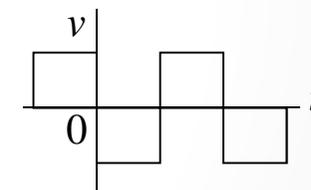
Sinus teredam



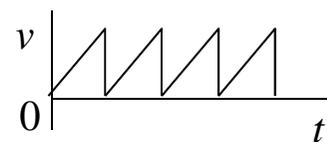
Eksponensial ganda



Deretan pulsa



Gelombang persegi



Gigi gergaji

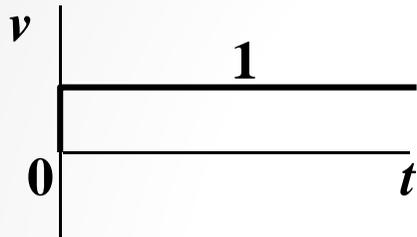


Segi tiga



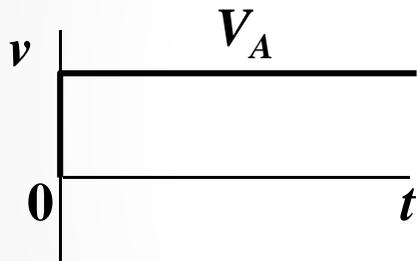
Bentuk Gelombang Dasar

Fungsi Anak-Tangga (Fungsi Step)



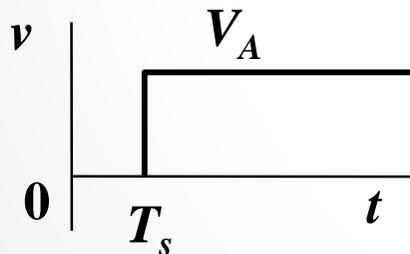
$$v = u(t) = 0 \text{ untuk } t < 0 \\ = 1 \text{ untuk } t \geq 0$$

Amplitudo = 1
Muncul pada $t = 0$



$$v = V_A u(t) = 0 \text{ untuk } t < 0 \\ = V_A \text{ untuk } t \geq 0$$

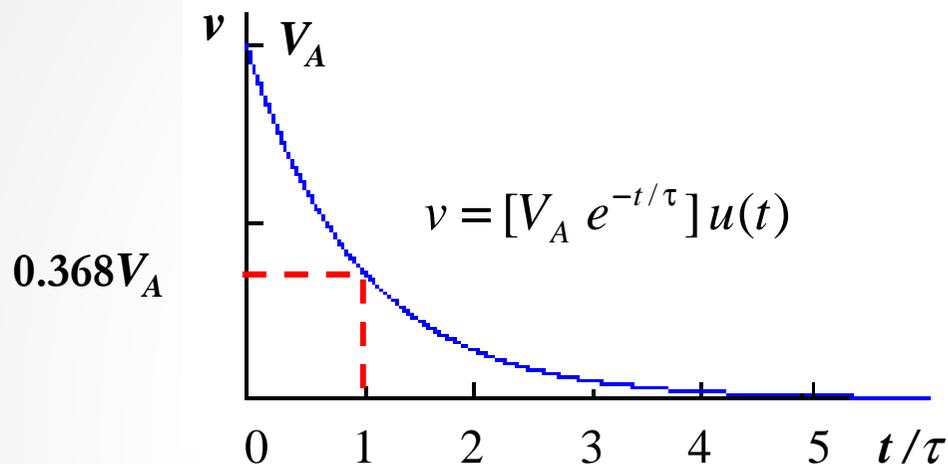
Amplitudo = V_A
Muncul pada $t = 0$



$$v = V_A u(t - T_s) = 0 \text{ untuk } t < T_s \\ = V_A \text{ untuk } t \geq T_s$$

Amplitudo = V_A
Muncul pada $t = T_s$
Atau tergeser positif sebesar T_s

Bentuk Gelombang Eksponensial



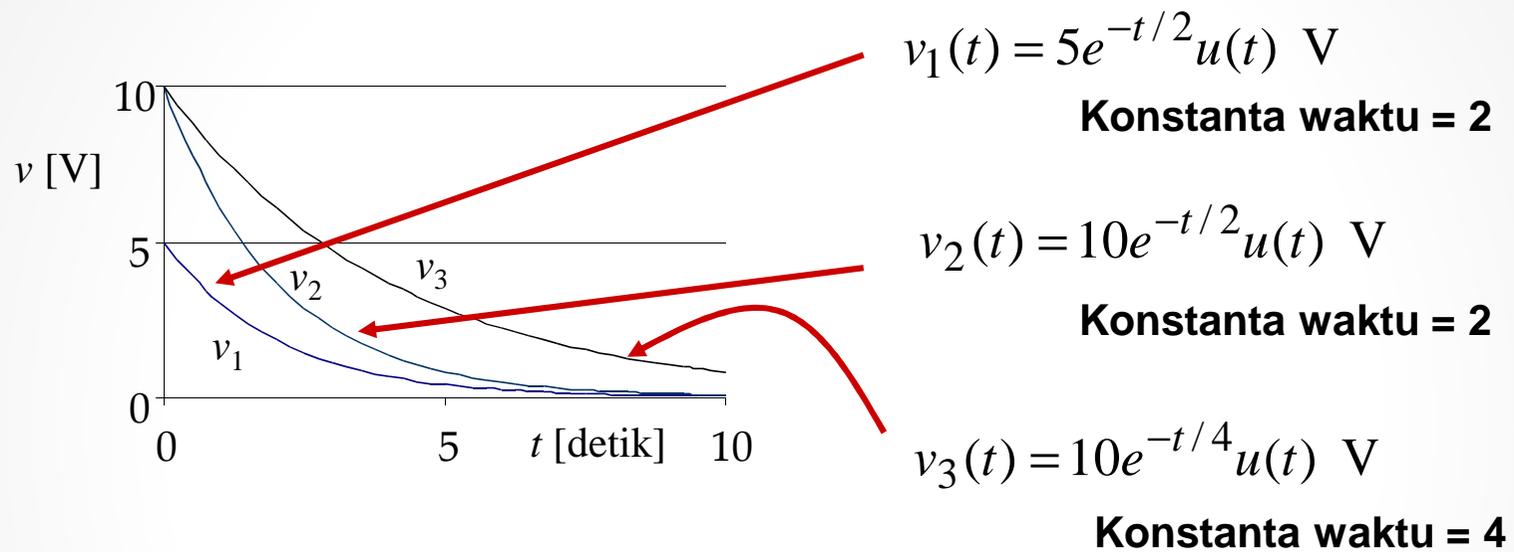
Amplitudo = V_A
 τ : konstanta waktu

Pada $t = \tau$ sinyal sudah menurun sampai 36,8 % V_A .

Pada $t = 5\tau$ sinyal telah menurun sampai $0,00674V_A$, kurang dari 1% V_A .

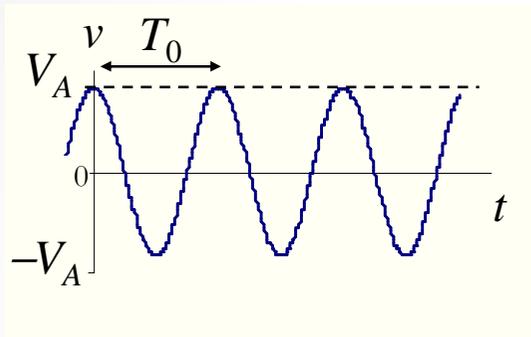
Kita definisikan durasi (lama berlangsungnya) suatu sinyal eksponensial adalah 5τ . Makin besar konstanta waktu, makin lambat sinyal menurun.

Contoh



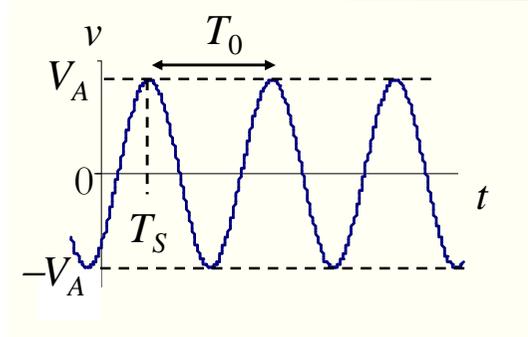
**Makin besar konstanta waktu,
makin lambat gelombang menurun**

Gelombang Sinus



$$v = V_A \cos(2\pi t / T_0)$$

(Nilai puncak pertama terjadi pada $t = 0$)



$$v = V_A \cos[2\pi(t - T_s) / T_0]$$

(Nilai puncak pertama terjadi pada $t = T_s$)

Dapat ditulis

$$v = V_A \cos[2\pi t / T_0 - \phi]$$

$$\text{dengan } \phi = 2\pi \frac{T_s}{T_0} \text{ (sudut fasa)}$$

Karena frekuensi siklus $f_0 = \frac{1}{T_0}$
dan frekuensi sudut $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{T_0}$

maka

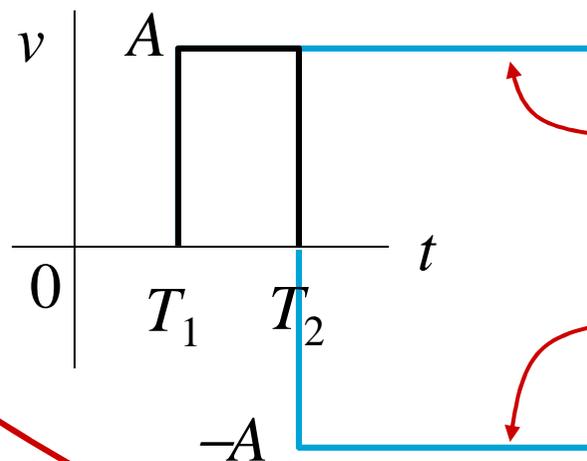
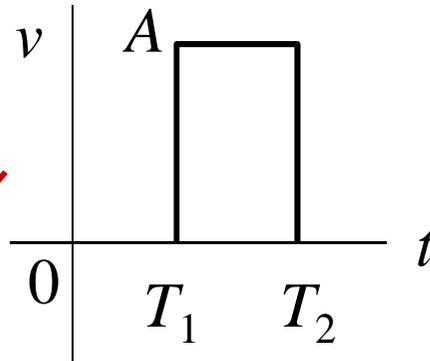
$$v = V_A \cos[2\pi f_0 t - \phi] \quad \text{atau} \\ v = V_A \cos[\omega_0 t - \phi]$$



Bentuk Gelombang Komposit

Fungsi Impuls

Dipandang sebagai terdiri dari dua gelombang anak tangga



$$v = Au(t - T_1)$$

Muncul pada $t = T_1$

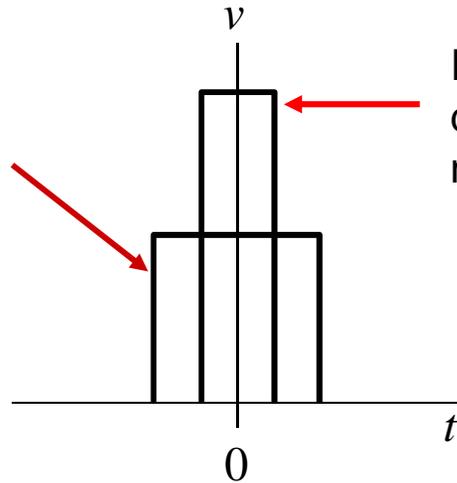
$$v = -Au(t - T_2)$$

Muncul pada $t = T_2$

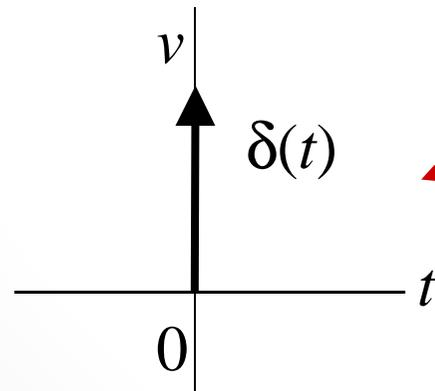
$$v = Au(t - T_1) - Au(t - T_2)$$

Impuls Satuan

Impuls simetris
thd sumbu tegak
Luas = 1



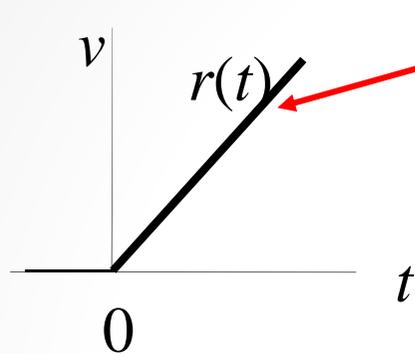
Impuls simetris thd sumbu tegak
dengan lebar impuls diperkecil
namun dipertahankan luas tetap 1



**Lebar impuls terus diperkecil
sehingga menjadi impuls
satuan dengan definisi:**

$$\begin{aligned} v = \delta(t) &= 0 && \text{untuk } t \neq 0 \\ &= 1 && \text{untuk } t = 0 \end{aligned}$$

Fungsi Ramp

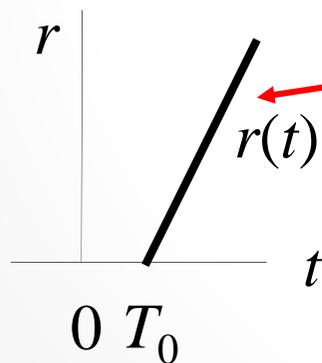


Amplitudo ramp berubah secara linier
Ramp muncul pada $t = 0$

$$v(t) = r(t) = t u(t)$$

Kemiringan = 1

Fungsi Ramp Tergeser



ramp berubah secara linier
muncul pada $t = T_0$

$$r(t) = K(t - T_0)u(t - T_0)$$

Kemiringan fungsi ramp

Pergeseran sebesar T_0

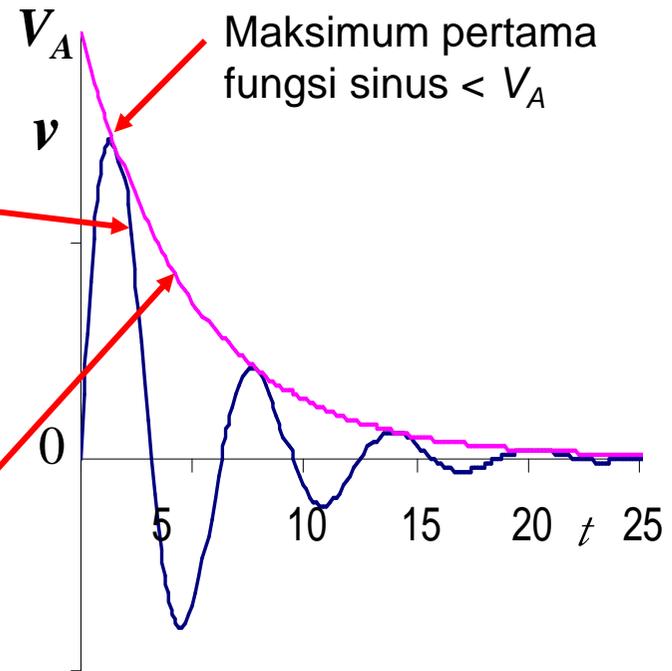
Sinus Teredam

$$v = \sin(\omega t) \left(V_A e^{-t/\tau} \right) u(t)$$
$$= V_A \sin \omega t e^{-t/\tau} u(t)$$

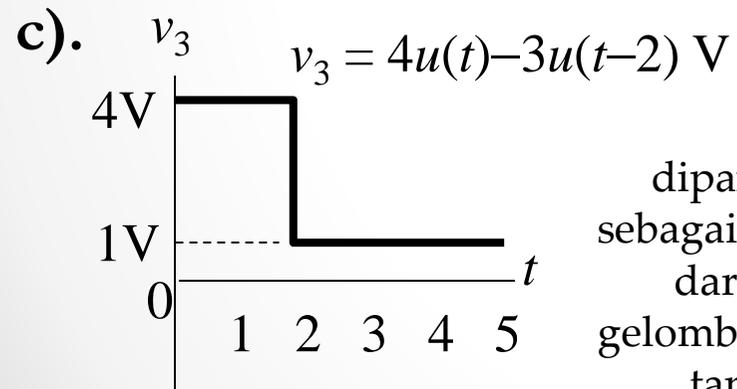
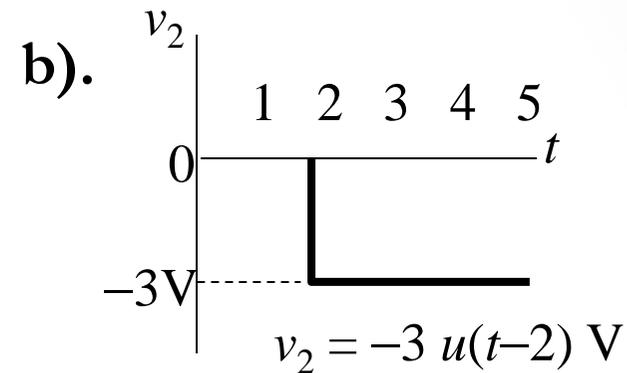
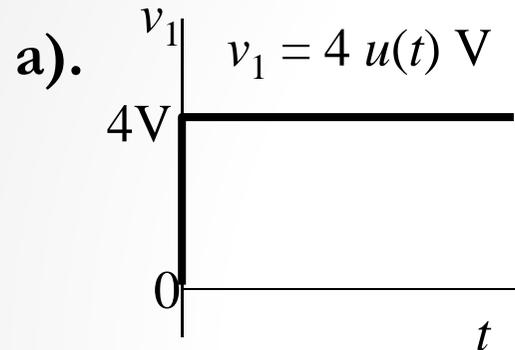
Faktor yang menyebabkan penurunan secara eksponensial

Fungsi sinus beramplitudo 1

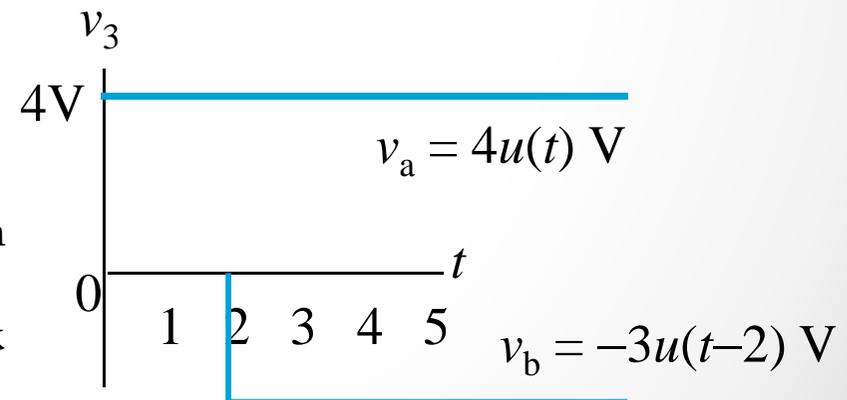
Fungsi eksponensial beramplitudo V_A



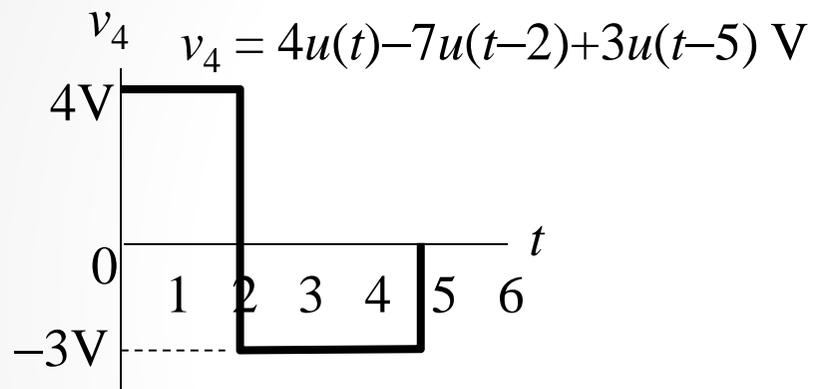
CONTOH: (bentuk gelombang anak tangga dan komposisinya)



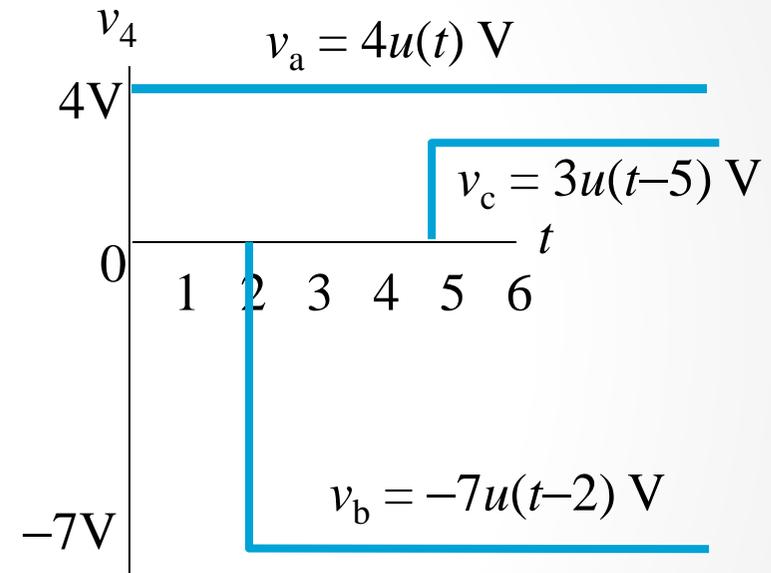
dipandang
sebagai tersusun
dari dua
gelombang anak
tangga



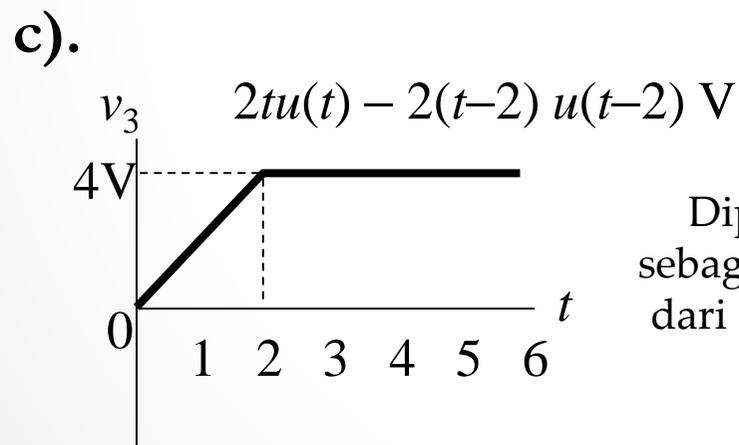
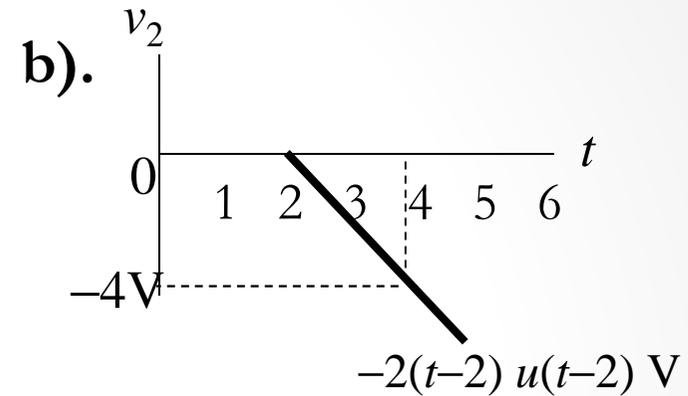
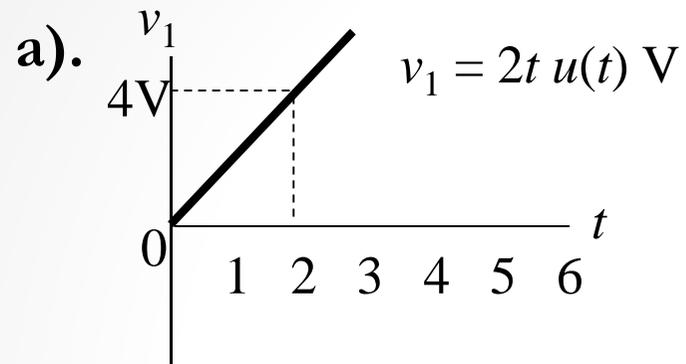
d).



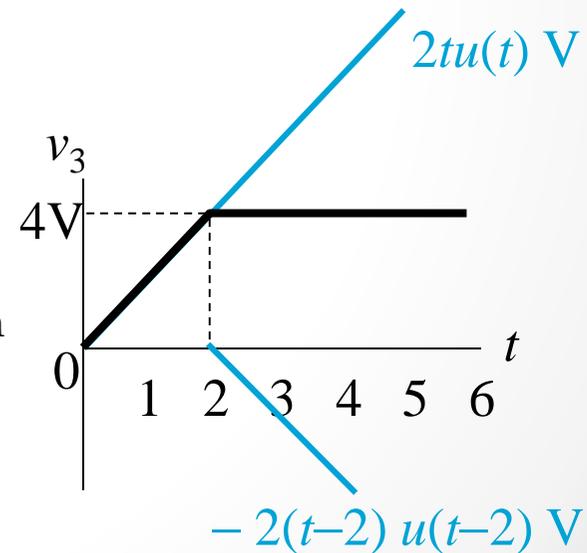
Dipandang sebagai tersusun dari
tiga gelombang anak tangga



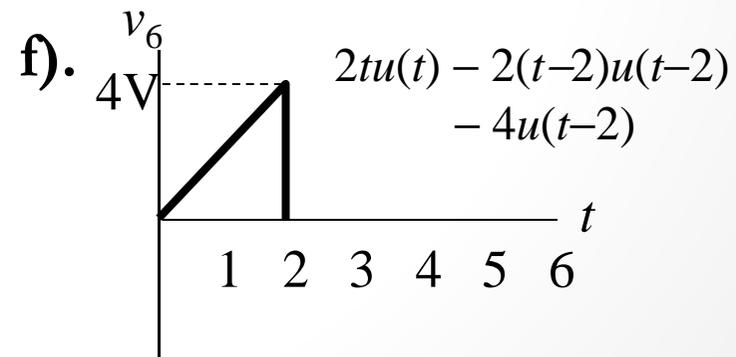
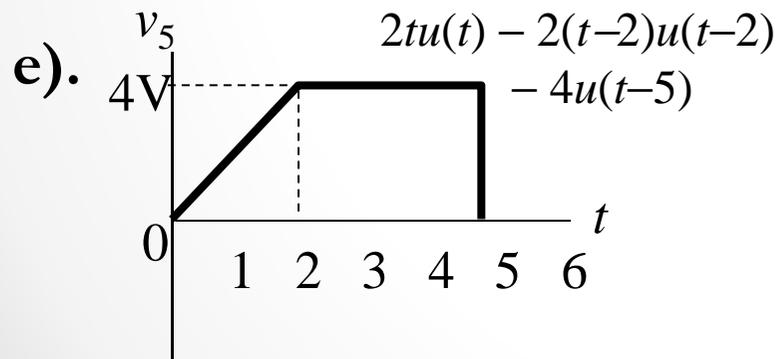
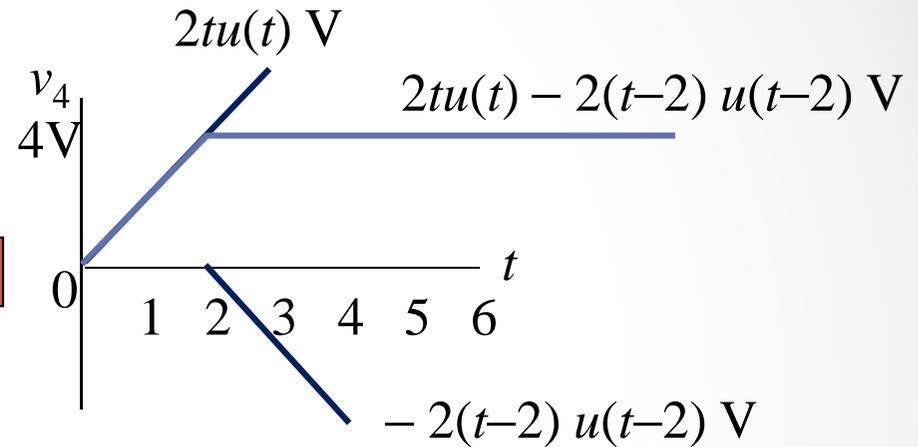
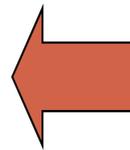
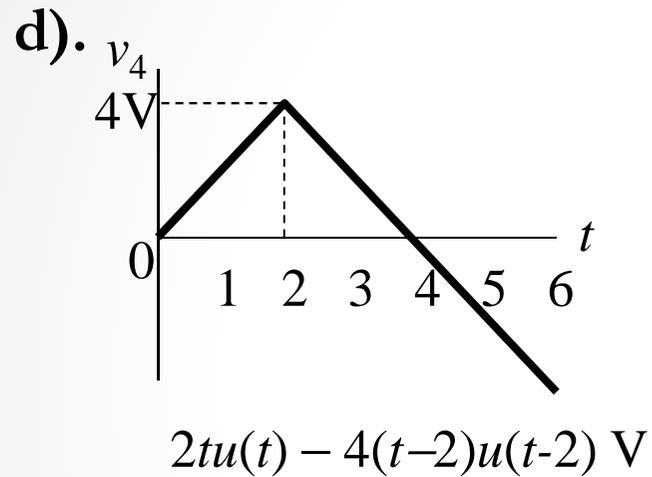
CONTOH: (fungsi ramp dan komposisinya)



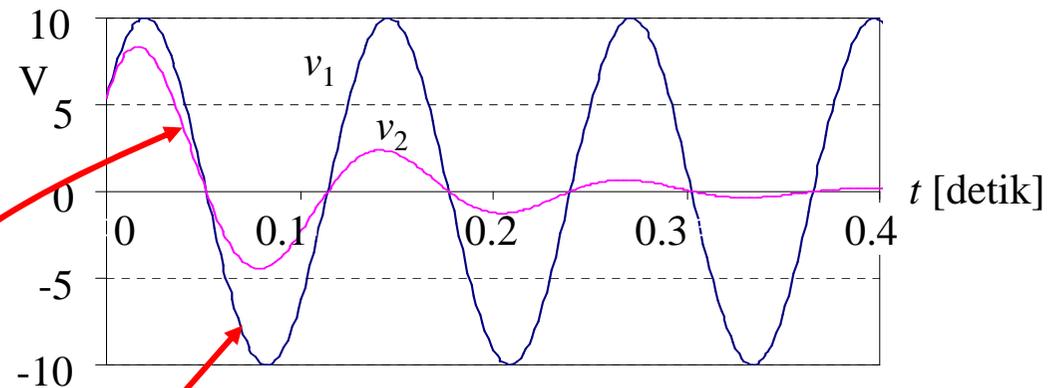
Dipandang
sebagai tersusun
dari dua fungsi
ramp



CONTOH: (fungsi ramp dan kompositnya)



CONTOH: sinus teredam



sinus $v_1 = 10 \cos(50(t - 0,020)) u(t) \text{ V}$

sinus teredam $v_2 = 10 \cos(50(t - 0,020)) e^{-t/0,1} u(t) \text{ V}$

yang dapat diabaikan nilainya pada $t > 0,5$ detik



Spektrum Sinyal

Suatu sinyal periodik dapat diuraikan atas komponen-komponen penyusunnya. Komponen-komponen penyusun tersebut merupakan sinyal sinus.

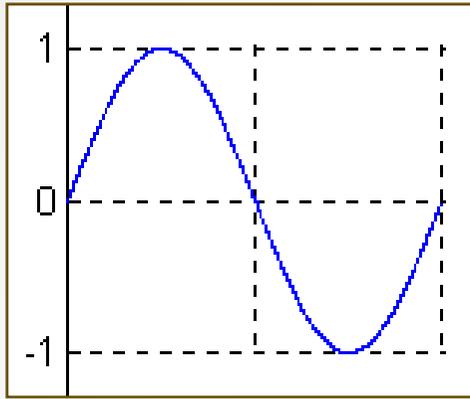
Kita juga dapat menyatakan sebaliknya, yaitu susunan sinyal-sinyal sinus akan membentuk suatu sinyal periodik.

Komponen sinus dengan frekuensi paling rendah disebut komponen sinus dasar, sedang komponen sinus dengan frekuensi lebih tinggi disebut komponen-komponen harmonisa.

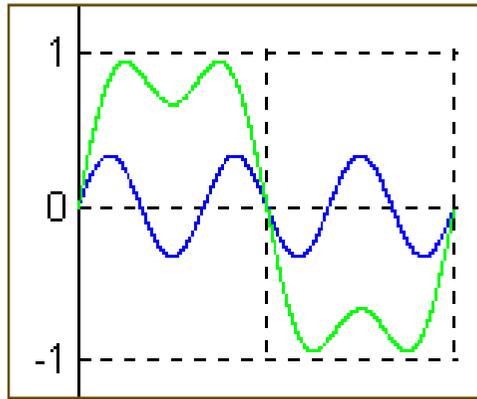
Komponen harmonisa memiliki frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari frekuensi sinus dasar. Jika sinus dasar memiliki frekuensi f_0 , maka harmonisa ke-3 mempunyai frekuensi $3f_0$, harmonisa ke-7 memiliki frekuensi $7f_0$, dst.

Berikut ini adalah suatu contoh penjumlahan sinyal sinus yang akhirnya membentuk gelombang persegi.

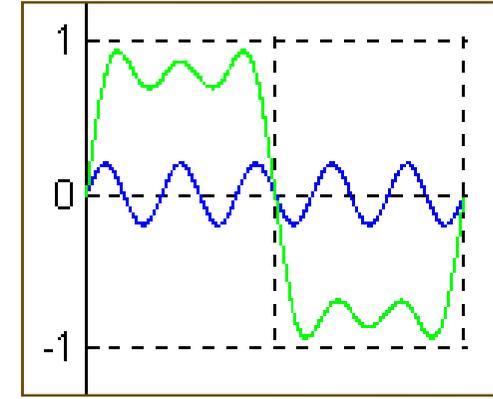
Contoh : Susunan sinyal sinus yang membentuk Gelombang Persegi



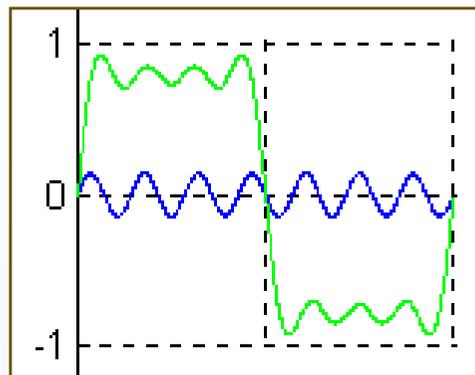
sinus dasar



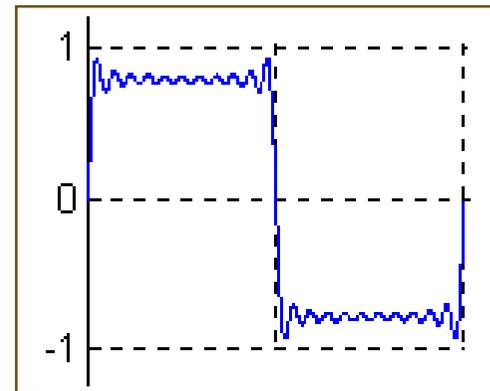
sin dasar + harmonisa 3



sin dasar + harmonisa 3 + 5



sin dasar + harmonisa 3 + 5 + 7



sin dasar + harmonisa 3 s/d 21

Berikut ini kita akan melihat suatu penjumlahan sinyal sinus yang kemudian kita analisis komponen per komponen.

Sinyal: $v = 10 + 30 \cos(2\pi f_0 t) + 15 \sin(2\pi(2f_0)t) - 7,5 \cos(2\pi(4f_0)t)$

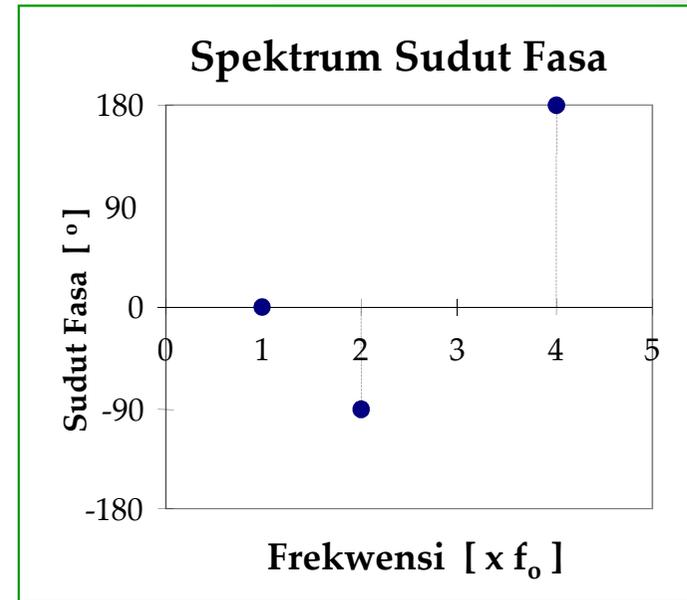
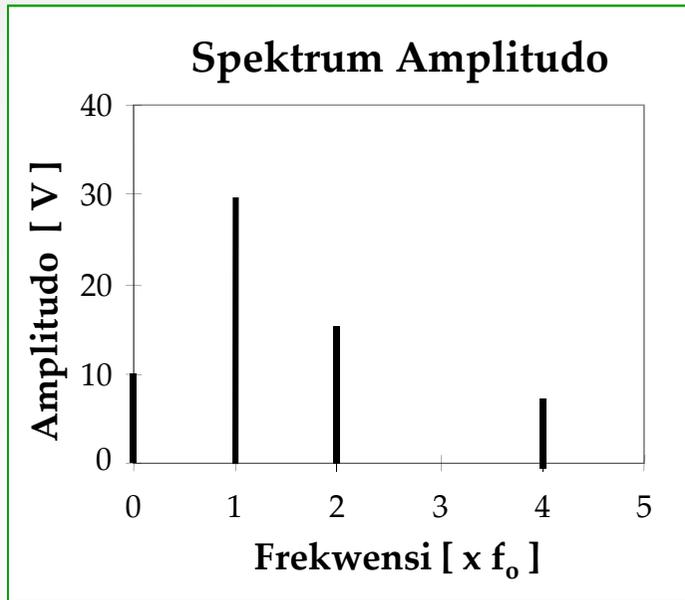
Uraian:

Frekuensi	0	f_0	$2 f_0$	$4 f_0$
Amplitudo (V)	10	30	15	7,5
Sudut fasa	–	0°	-90°	180°

Uraian amplitudo setiap komponen membentuk
spektrum amplitudo

Uraian sudut fasa setiap komponen membentuk
spektrum sudut fasa

Kedua spektrum tersebut digambarkan sebagai berikut:



Dalam spektrum ini, frekuensi sinyal terendah adalah nol, yaitu komponen arus searah

Frekuensi komponen sinus terendah adalah f_0 .

Frekuensi komponen sinus tertinggi adalah $4f_0$.

Lebar Pita (band width)

Lebar pita adalah selisih dari frekuensi tertinggi dan terendah

Frekuensi tertinggi adalah batas frekuensi dimana amplitudo dari harmonisa-harmonisa yang frekuensinya di atas frekuensi ini dapat diabaikan

Batas frekuensi terendah adalah frekuensi sinus dasar jika bentuk gelombang yang kita tinjau tidak mengandung komponen searah. Jika mengandung komponen searah maka frekuensi terendah adalah nol



**Spektrum sinyal periodik merupakan uraian
sinyal menjadi deret Fourier**

Deret Fourier

Suatu fungsi periodik dapat dinyatakan sebagai:

$$f(t) = a_0 + \sum [a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \sin(2\pi n f_0 t)]$$

atau

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sqrt{a_n^2 + b_n^2} \cos(n\omega_0 t - \varphi_n) \right]$$

$$\frac{b_n}{a_n} = \tan \varphi_n$$

Komponen searah

Amplitudo
komponen sinus

Sudut Fasa
komponen sinus

dimana:

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) dt$$

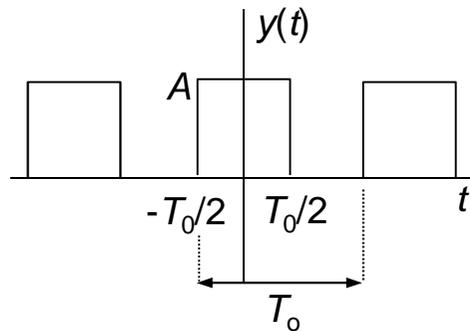
$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} f(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt$$

yang disebut sebagai
koefisien Fourier

Jika sinyal simetris terhadap sumbu-y, banyak koefisien Fourier bernilai nol

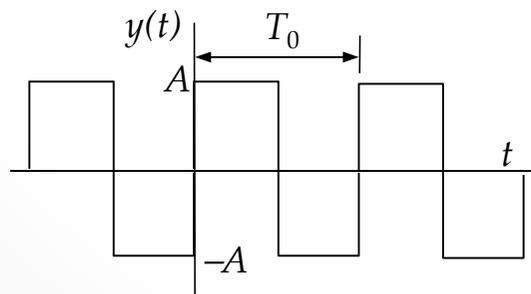
Simetri Genap $y(t) = y(-t)$



$$b_n = 0$$

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t)]$$

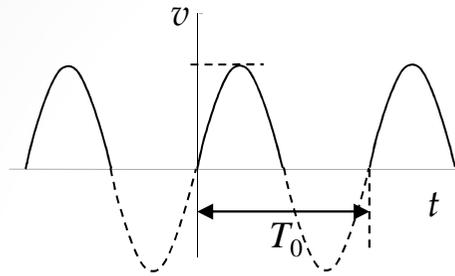
Simetri Ganjil $y(t) = -y(-t)$



$$a_0 = 0 \quad \text{dan} \quad a_n = 0$$

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} [b_n \sin(n\omega_0 t)]$$

Contoh: simetri ganjil - Penyearahan Setengah Gelombang

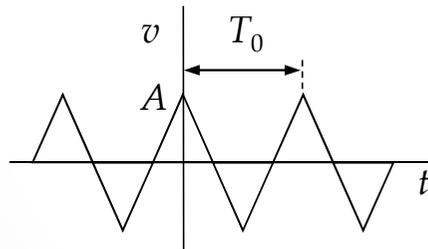


$$a_0 = A/\pi$$

$$a_n = \frac{2A/\pi}{1-n^2} \quad n \text{ genap}; \quad a_n = 0 \quad n \text{ ganjil}$$

$$b_1 = A/2; \quad b_n = 0 \quad n \neq 1$$

Contoh: simetri genap - Sinyal Segitiga



$$a_0 = 0$$

$$a_n = \frac{8A}{(n\pi)^2} \quad n \text{ ganjil}; \quad a_n = 0 \quad n \text{ genap}$$

$$b_n = 0 \quad \text{untuk semua } n$$

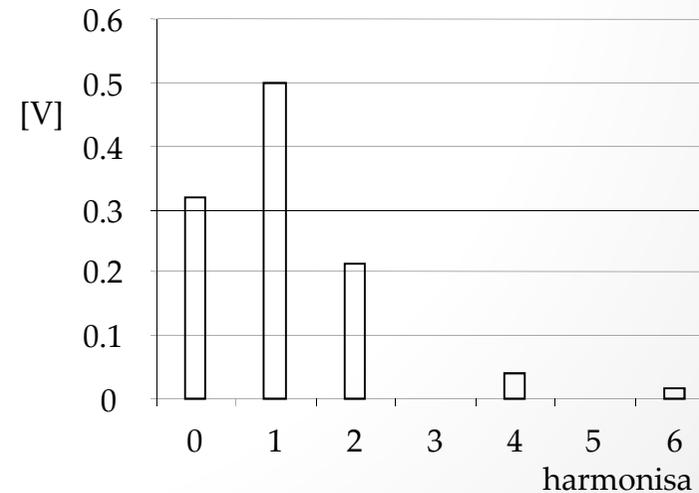
Contoh: Uraian Penyearahan Setengah Gelombang

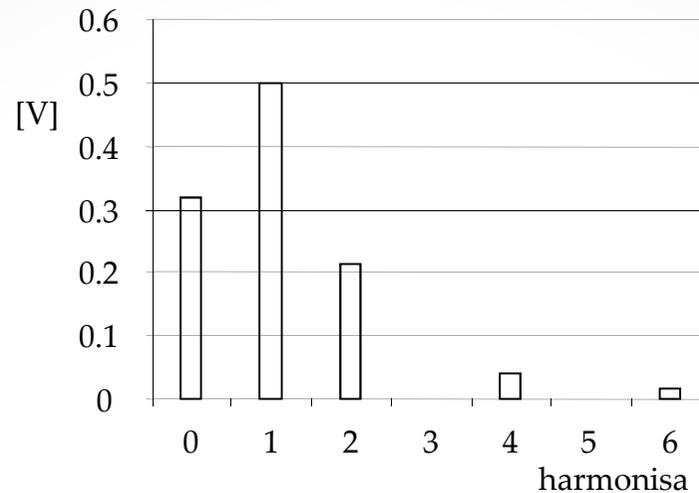
Koefisien Fourier		Amplitudo	ϕ [rad]
a_0	0,318	0,318	
a_1	0	0,5	1,57
b_1	0,5		
a_2	-0,212	0,212	0
b_2	0		
a_4	-0,042	0,042	0
b_4	0		
a_6	-0,018	0,018	0
b_6	0		

$A_0 = 0,318 \text{ V}; A_1 = 0,5 \text{ V}; A_2 = 0,212 \text{ V};$
 $A_4 = 0,042 \text{ V}; A_6 = 0,018 \text{ V}$

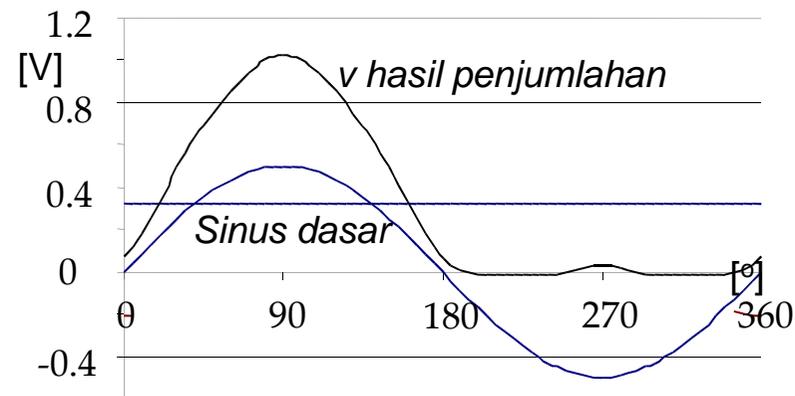
Uraian ini dilakukan hanya sampai pada harmonisa ke-6

Dan kita mendapatkan spektrum amplitudo sebagai berikut:





Jika dari spektrum yang hanya sampai harmonisa ke-6 ini kita jumlahkan kembali, kita peroleh bentuk gelombang:



Terdapat cacat pada bentuk gelombang hasil penjumlahan

Sampai harmonisa ke berapa kita harus menguraikan suatu bentuk gelombang periodik, tergantung seberapa jauh kita dapat menerima adanya cacat yang mungkin terjadi pada penjumlahan kembali spektrum sinyal



4. Model Piranti

**Piranti Listrik dikelompokkan ke
dalam 2 katagori**

Piranti

```
graph TD; Piranti --> pasif; Piranti --> aktif;
```

pasif

menyerap
daya

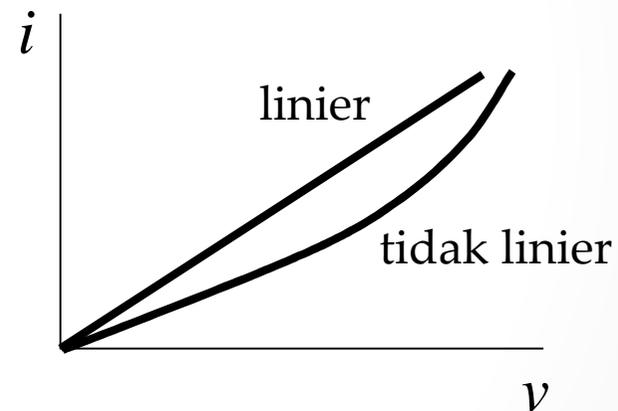
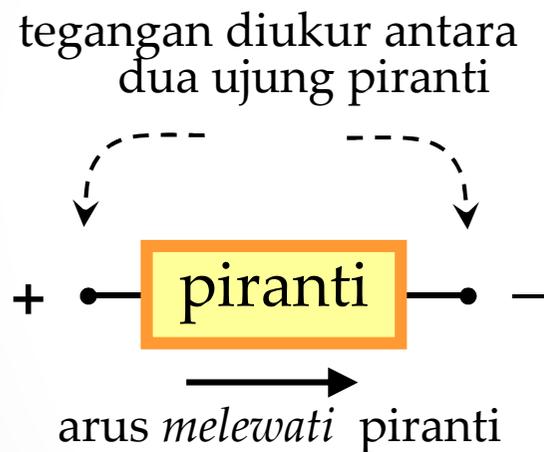
aktif

memberi
daya



Model Piranti Pasif

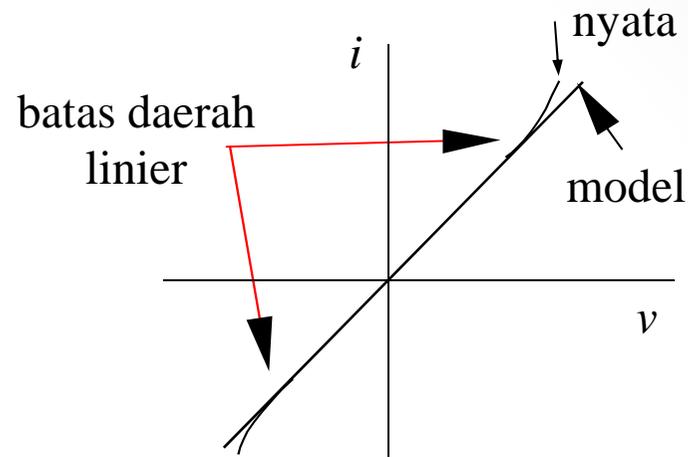
Perilaku suatu piranti dinyatakan oleh *karakteristik $i-v$* yang dimilikinya, yaitu hubungan antara arus yang melalui piranti dengan tegangan yang ada di antara terminalnya.



Resistor



Simbol:



Kurva i terhadap v tidak linier benar namun ada bagian yang sangat mendekati linier, sehingga dapat dianggap linier. Di bagian inilah kita bekerja.

$$v_R = R i_R \text{ atau } i_R = G v_R$$

$$\text{dengan } G = \frac{1}{R}$$

R disebut resistansi

G disebut konduktansi

$$\text{Daya pada } R: p_R = v_R i_R = i_R^2 R = v_R^2 G = \frac{v_R^2}{R}$$

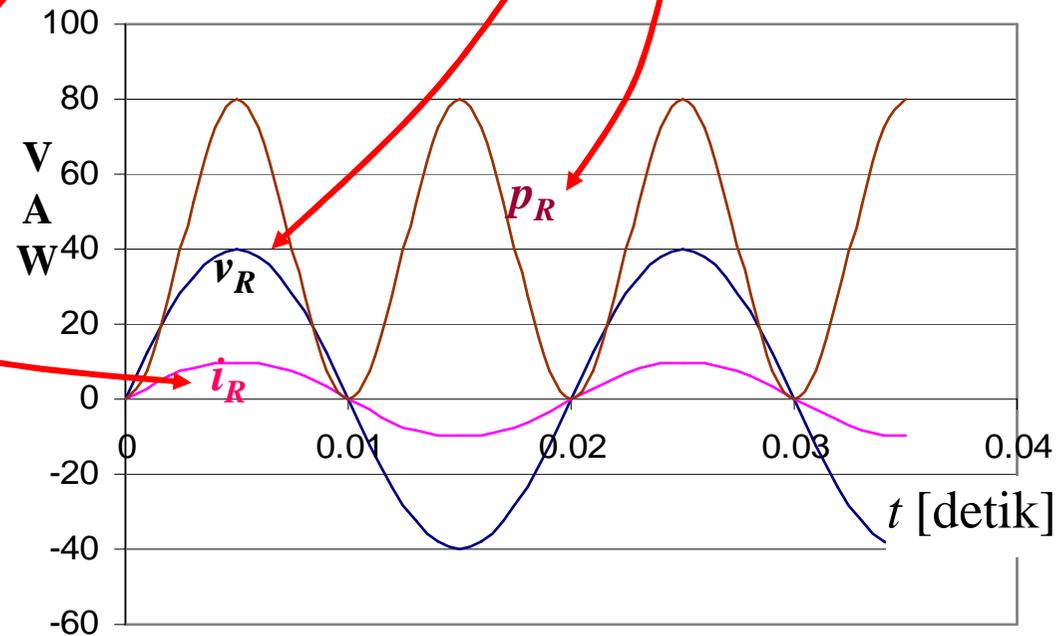
CONTOH:

Resistor: $R = 4 \Omega$

$$i_R = 10 \sin 314 t \text{ A}$$

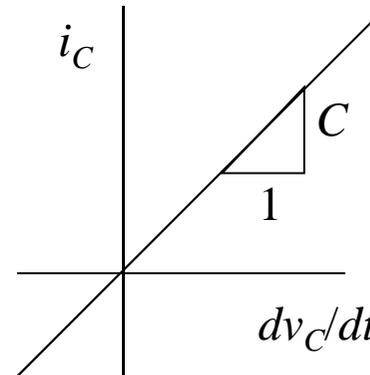
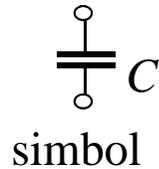
$$v_R = 40 \sin 314 t \text{ V}$$

$$p_R = 400 \sin^2 314 t \text{ W}$$



Bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan

Kapasitor



$$i_C = C \frac{dv_C}{dt} \quad \Rightarrow \quad v_C = v_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C dt$$

Konstanta proporsionalitas

C disebut *kapasitansi*

$$\text{Daya pada } C: p_C = v_C i_C = C v_C \frac{dv_C}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} C v_C^2 \right]$$

Daya adalah turunan terhadap waktu dari energi. Maka apa yang ada dalam tanda kurung adalah energi

$$\text{Energi: } w_C = \frac{1}{2} C v_C^2 + \text{konstanta}$$

Energi awal

CONTOH:

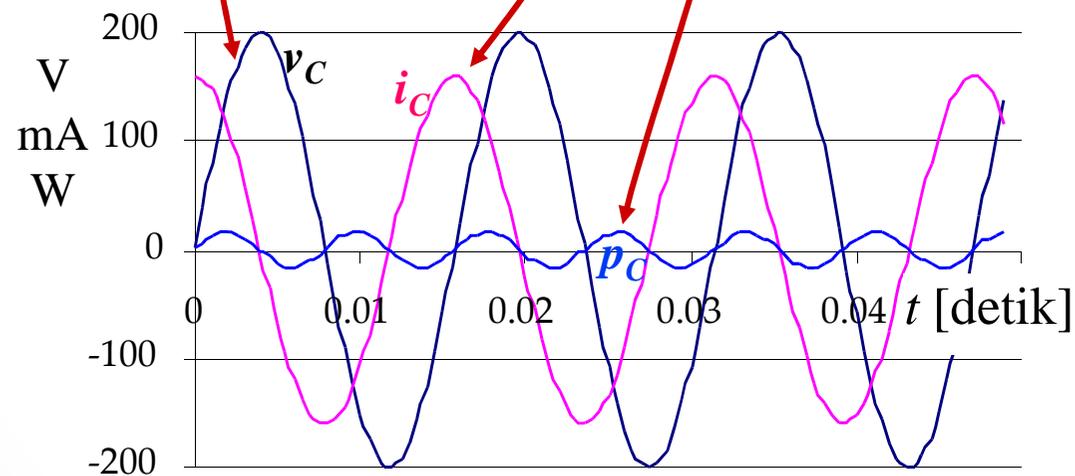
Kapasitor: $C = 2 \mu\text{F} = 2 \times 10^{-6} \text{ F}$

$$v_C = 200 \sin 400t \text{ V}$$

$$\frac{dv_C}{dt} = 80000 \cos 400t \text{ V}$$

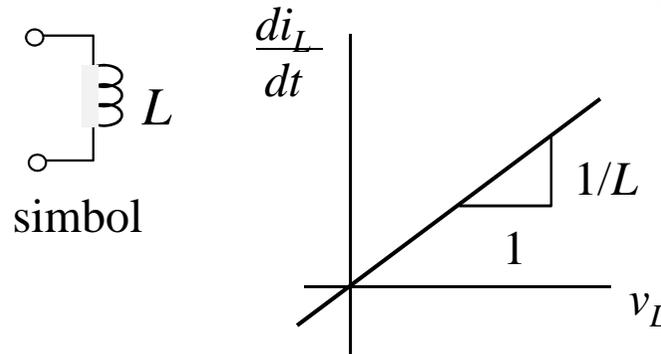
$$i_C = 0,16 \cos 400t \text{ A}$$

$$p_C = 16 \sin 800t \text{ W}$$



Bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan namun i_C muncul lebih dulu dari v_C . Arus 90° mendahului tegangan

Induktor



$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_L = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L dt$$

Konstanta proporsionalitas

L disebut *induktansi*

$$\text{Daya pada } L: p_L = v_L i_L = L i_L \frac{di_L}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} L i_L^2 \right]$$

Daya adalah turunan terhadap waktu dari energi. Maka apa yang ada dalam tanda kurung adalah energi

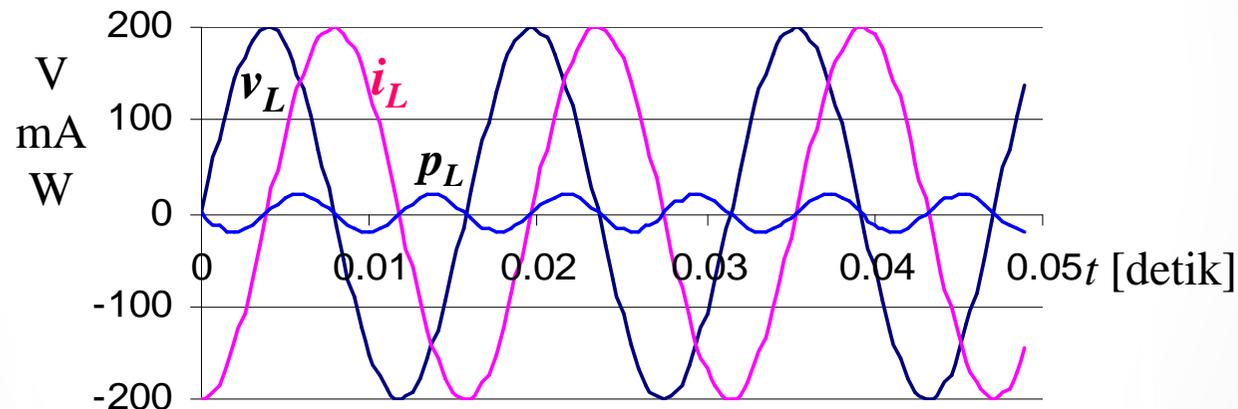
$$\text{Energi: } w_L = \frac{1}{2} L i_L^2 + \text{konstanta}$$

Energi awal

CONTOH: Induktor : $L = 2,5 \text{ H}$ $v_L = 200\sin 400t \text{ Volt}$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \rightarrow i_L = \frac{1}{L} \int v_L dt = -0,2 \cos 400t + i_{L0} \text{ A}$$

$$p_L = v_L i_L = -20 \sin 800t \text{ W}$$



Bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan namun i_L muncul lebih belakang dari v_L . Arus 90° di belakang tegangan

Resistansi, kapasitansi, dan induktansi, dalam analisis rangkaian listrik merupakan suatu konstanta proporsionalitas.

Secara fisik, mereka merupakan besaran *dimensional*.

Resistor

$$v_R = R i_R$$

Kapasitor

$$i_C = C \frac{dv_C}{dt}$$

Induktor

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

konstanta proporsionalitas

Secara Fisik

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

resistivitas

L: panjang konduktor

A: luas penampang

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

konstanta dielektrik

A: luas penampang elektroda

d: jarak elektroda

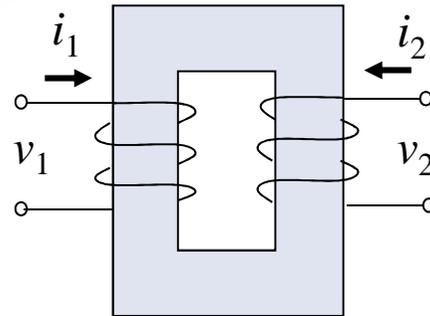
$$L = kN^2$$

konstanta

N: jumlah lilitan

Induktansi Bersama

Dua kumparan terkopel secara magnetik



Induktansi sendiri kumparan-1

$$L_1 = k_1 N_1^2$$

$$L_2 = k_2 N_2^2$$

Induktansi sendiri kumparan-2

Terdapat kopling magnetik antar kedua kumparan yang dinyatakan dengan: M

Kopling pada kumparan-1 oleh kumparan-2

$$M_{12} = k_{12} N_1 N_2$$

$$M_{21} = k_{21} N_2 N_1$$

Kopling pada kumparan-2 oleh kumparan-1

Jika medium magnet linier : $k_{12} = k_{21} = k_M$

$$M_{12} = M_{21} = k_M N_1 N_2 = M = k \sqrt{L_1 L_2}$$

Persamaan tegangan di kumparan-1

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$$

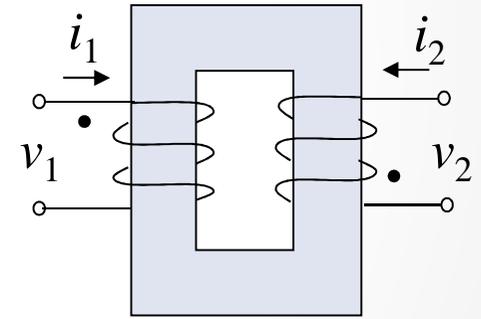
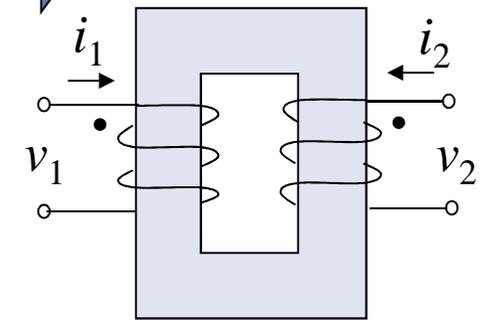
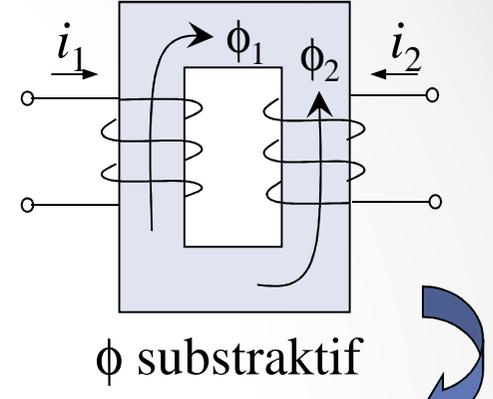
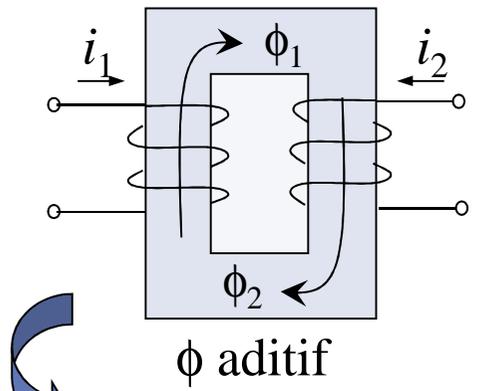
$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$$

Persamaan tegangan di kumparan-2

Tanda \pm tergantung dari apakah fluksi magnet yang ditimbulkan oleh kedua kumparan saling membantu atau saling berlawanan

Kopling magnetik bisa positif (aditif) bisa pula negatif (substraktif)

Untuk memperhitungkan kopling magnetik digunakan **Konvensi Titik:** Arus i yang masuk ke ujung yang bertanda titik di salah satu kumparan, membangkitkan tegangan berpolaritas positif pada ujung kumparan lain yang juga bertanda titik. Besarnya tegangan yang terbangkit adalah $M di/dt$.



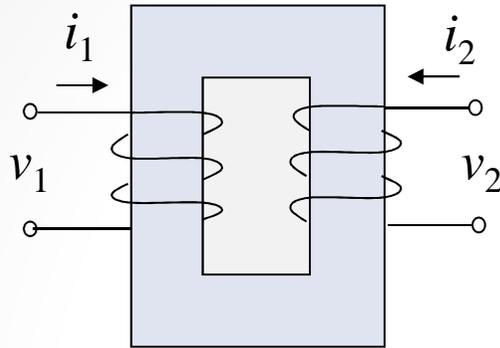
$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$

$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

Transformator Ideal



$$L_1 = k_1 N_1^2$$

$$L_2 = k_2 N_2^2$$

$$M_{12} = k_{12} N_1 N_2$$

$$M_{21} = k_{21} N_2 N_1$$

Jika kopling magnet terjadi secara sempurna, artinya fluksi magnet melingkupi kedua kumparan tanpa terjadi kebocoran, maka

$$k_1 = k_2 = k_{12} = k_{21} = k_M$$

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt} = N_1 \left(k_M N_1 \frac{di_1}{dt} \pm k_M N_2 \frac{di_2}{dt} \right)$$

$$v_2 = L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt} = \pm N_2 \left(\pm k_M N_2 \frac{di_2}{dt} + k_M N_1 \frac{di_1}{dt} \right)$$

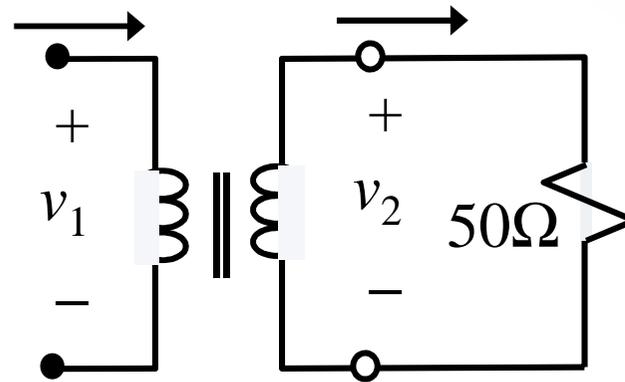
$$\frac{v_1}{v_2} = \pm \frac{N_1}{N_2}$$

Jika susut daya adalah nol:

$$v_1 i_1 + v_2 i_2 = 0$$

$$\frac{i_2}{i_1} = -\frac{v_1}{v_2} = \mp \frac{N_1}{N_2}$$

CONTOH:



$$N_1/N_2 = 0,1$$

$$v_1 = 120\sin 400t \text{ V}$$

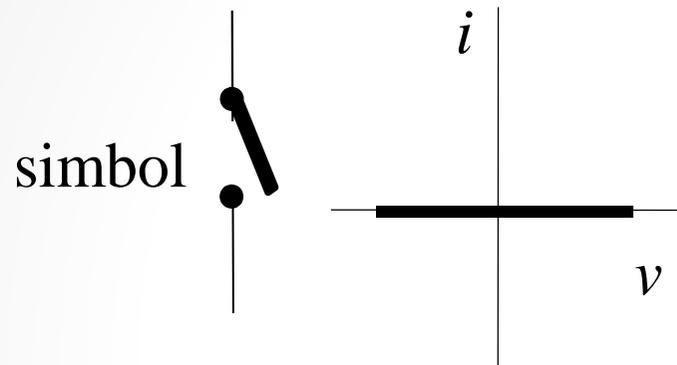
$$v_2 = (N_2 / N_1) v_1 = 1200\sin 400t \text{ V}$$

$$i_2 = v_2 / 50 = 24\sin 400t \text{ A}$$

$$i_1 = (N_2 / N_1) i_2 = 240\sin 400t \text{ A}$$

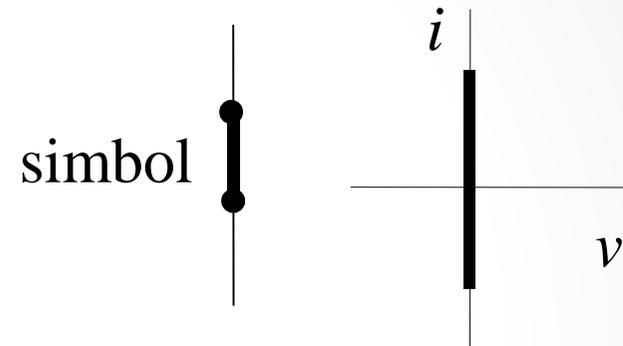
$$p_L = v_2 i_2 = 28.8\sin^2 400t \text{ kW.}$$

Saklar



saklar terbuka

$$i = 0, v = \text{sembarang}$$



saklar tertutup

$$v = 0, i = \text{sembarang}$$

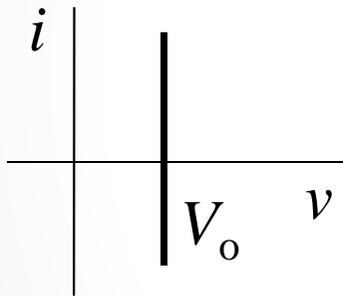


Model Piranti Aktif

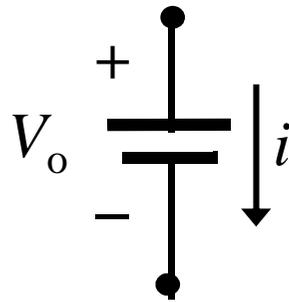
Sumber Tegangan Bebas Ideal

Sumber tegangan bebas memiliki tegangan yang ditentukan oleh dirinya sendiri, tidak terpengaruh oleh bagian lain dari rangkaian.

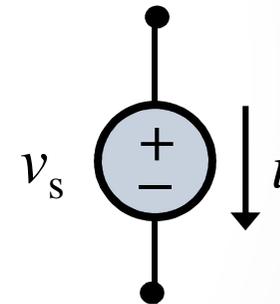
$$v = v_s \text{ (tertentu) dan } i = \text{sesuai kebutuhan}$$



Karakteristik $i - v$
sumber tegangan
konstan



Simbol sumber
tegangan
konstan

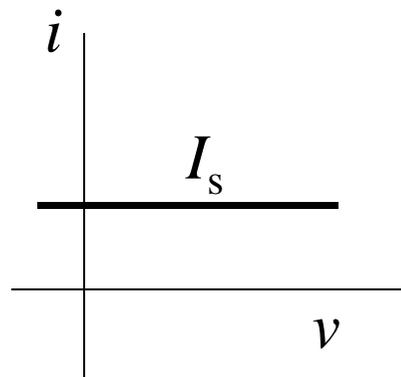


Simbol sumber
tegangan bervariasi
terhadap waktu

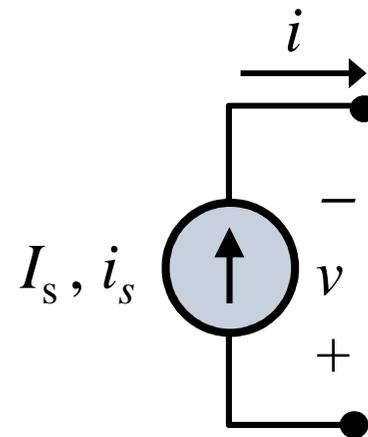
Sumber Arus Bebas Ideal

Sumber arus bebas memiliki kemampuan memberikan arus yang ditentukan oleh dirinya sendiri, tidak terpengaruh oleh bagian lain dari rangkaian.

$$i = i_s \text{ (tertentu) dan } v = \text{sesuai kebutuhan}$$

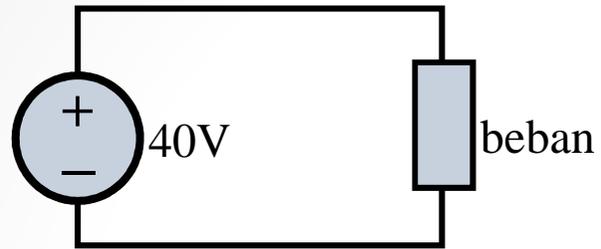


Karakteristik
sumber arus ideal



Simbol
sumber arus ideal

CONTOH:



Sumber Tegangan

$$v_{beban} = v_{sumber} = 40 \text{ V}$$

$$P_{beban} = 100 \text{ W} \rightarrow i = 2,5 \text{ A}$$

$$P_{beban} = 200 \text{ W} \rightarrow i = 5 \text{ A}$$

Tegangan sumber tetap, arus sumber berubah sesuai pembebanan



Sumber Arus

$$i_{beban} = i_{sumber} = 5 \text{ A}$$

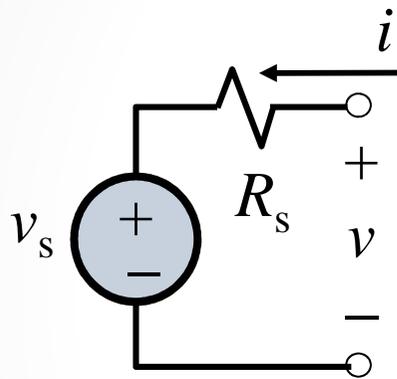
$$P_{beban} = 100 \text{ W} \rightarrow v = 20 \text{ V}$$

$$P_{beban} = 200 \text{ W} \rightarrow v = 40 \text{ V}$$

Arus sumber tetap, tegangan sumber berubah sesuai pembebanan

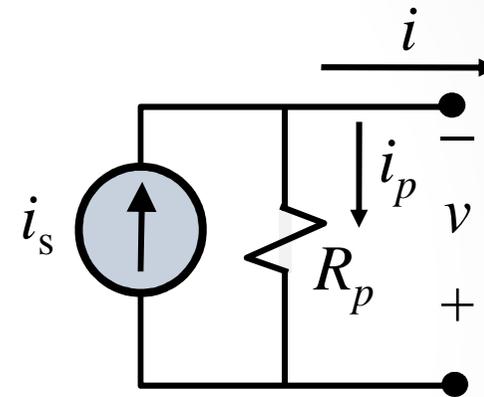
Sumber Praktis

Sumber praktis memiliki karakteristik yang mirip dengan keadaan dalam praktik. Sumber ini digambarkan dengan menggunakan sumber ideal tetapi tegangan ataupun arus sumber tergantung dari besar pembebanan.



Sumber tegangan praktis terdiri dari sumber ideal v_s dan resistansi seri R_s sedangkan tegangan keluarannya adalah v .

v_s tertentu, akan tetapi tegangan keluarannya adalah

$$v = v_s - iR$$


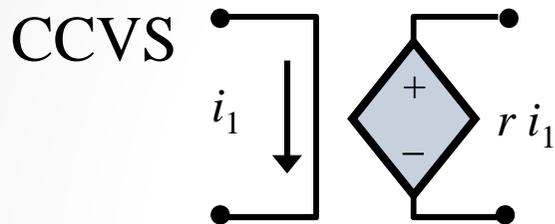
Sumber arus praktis terdiri dari sumber ideal i_s dan resistansi paralel R_p sedangkan tegangan keluarannya adalah v .

i_s tertentu, akan tetapi arus keluarannya adalah

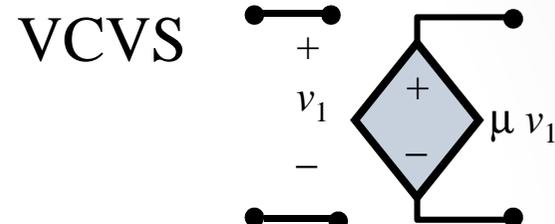
$$i = i_s - i_p$$

Sumber Tak-Bebas (Dependent Sources)

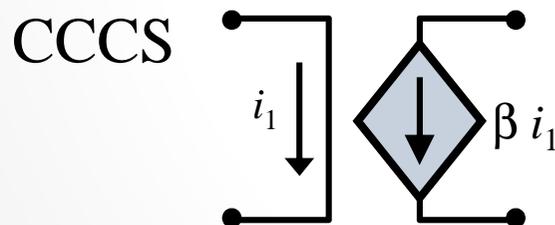
Sumber tak-bebas memiliki karakteristik yang ditentukan oleh besaran di bagian lain dari rangkaian. Ada empat macam sumber tak-bebas, yaitu:



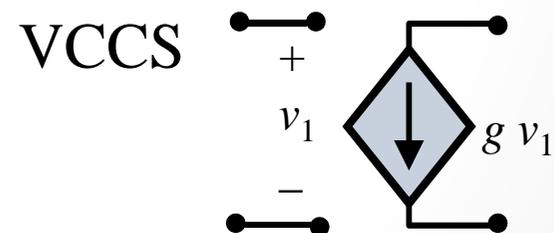
Sumber tegangan dikendalikan oleh arus



Sumber tegangan dikendalikan oleh tegangan

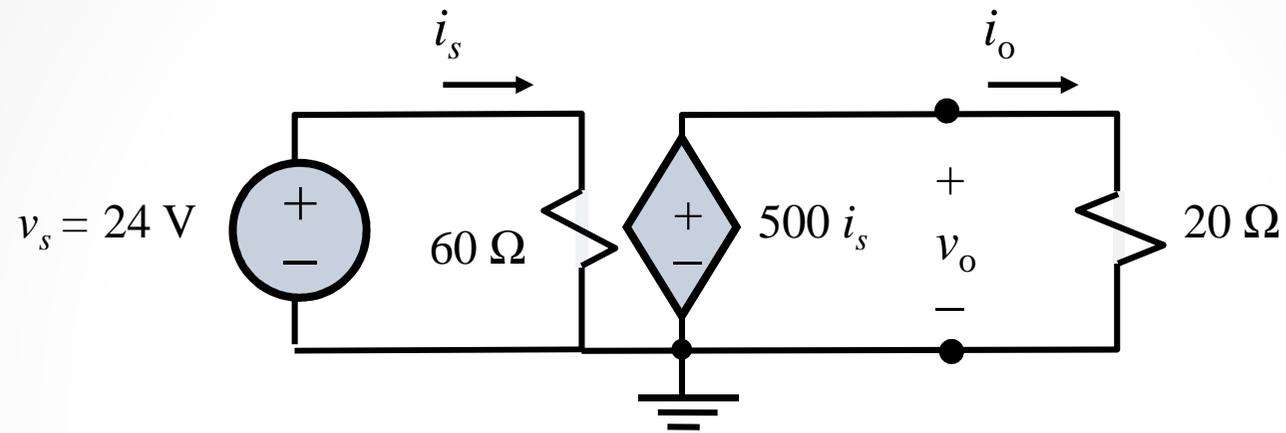


Sumber arus dikendalikan oleh arus



Sumber arus dikendalikan oleh tegangan

Contoh: Rangkaian dengan sumber tak bebas tanpa umpan balik

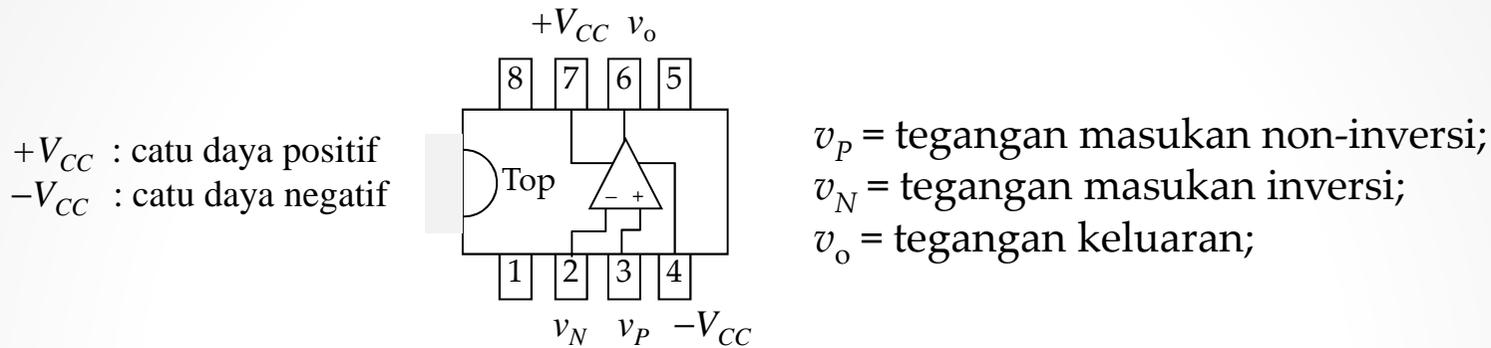


$$i_s = 0,4\ \text{A}$$

$$v_o = 500 i_s = 200\ \text{V}$$

$$p_o = \frac{(v_o)^2}{20} = 2000\ \text{W}$$

Sumber tak bebas digunakan untuk memodelkan Penguat Operasional (OP AMP)



Model Sumber Tak Bebas OP AMP

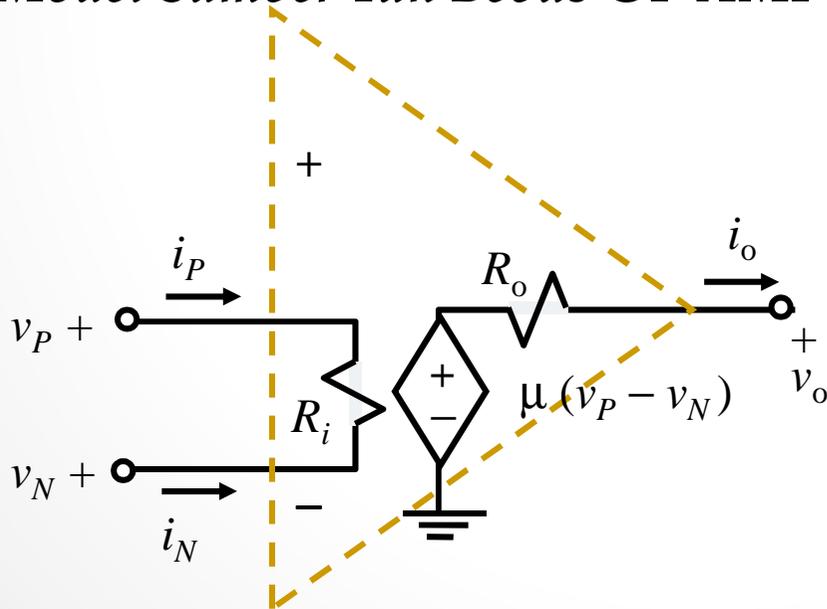
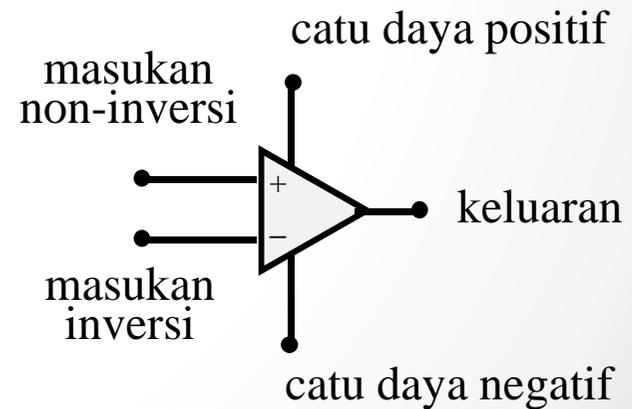
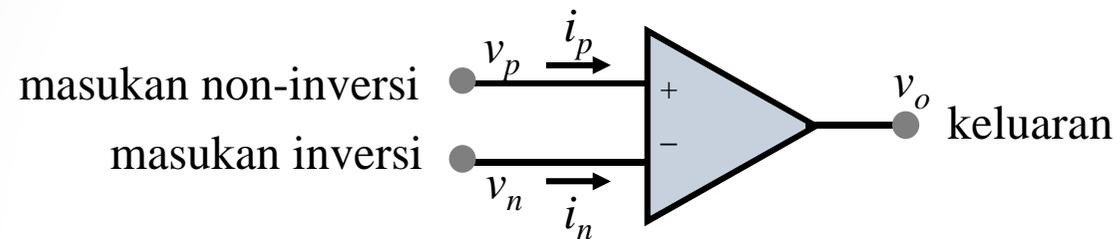


Diagram rangkaian



OP AMP Ideal

Suatu OPAMP ideal digambarkan dengan diagram rangkaian yang disederhanakan:

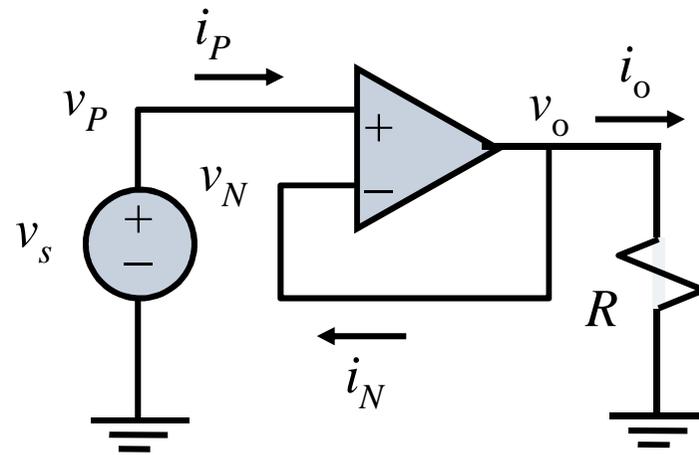


Jika OpAmp dianggap ideal maka terdapat relasi yang mudah pada sisi masukan

$$v_P = v_N$$

$$i_P = i_N = 0$$

Contoh: Rangkaian Penyangga (buffer)

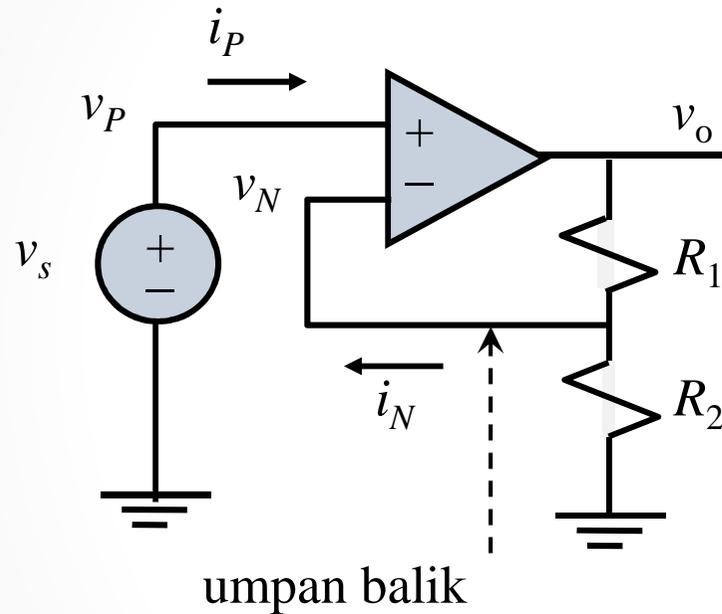


$$v_P = v_s$$

$$v_N = v_o$$

$$v_P = v_N \longrightarrow v_o = v_s$$

Contoh: Rangkaian Penguat Non-Inversi



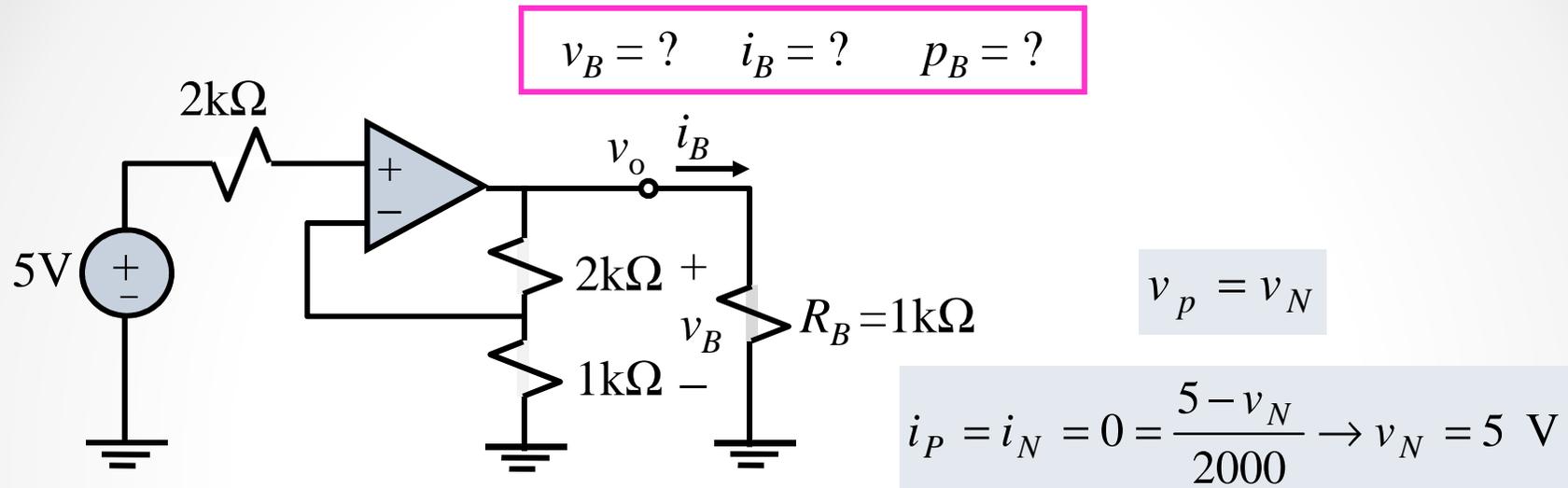
$$v_P = v_s$$

$$v_N = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o$$

$$v_P = v_N \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_o = v_s$$

$$v_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} v_s$$

CONTOH:



$$v_N = \frac{1}{1+2} v_o \Rightarrow \frac{1}{3} v_o = 5 \text{ V} \rightarrow v_o = 15 \text{ V}$$

$$i_B = \frac{v_o}{R_B} \quad p_B = v_B i_B = v_o i_B = i_B^2 R_B$$

Rangkaian dengan OP AMP yang lain akan kita pelajari dalam pembahasan tentang rangkaian pemroses sinyal



Bahan Kuliah Terbuka

Analisis Rangkaian Listrik di Kawasan Waktu

#1

Sudaryatno Sudirham