8. GELOMBANG SINUSOIDA (AC)

- **Tujuan**
  - Mahasiswa dapat menentukan harga-harga dalam suatu sinusoida (harga sesaat, harga maksimum, harga rata-rata, dsb); kecepatan sudut, phasa dsb.
  - Mahasiswa dapat mengubah fungsi sinusoida ke bentuk phasor dan sebaliknya.
  - Mahasiswa dapat melakukan perhitungan phasor
- **Materi**
  1. Gelombang Sinusoida (*sinusoid, sinusoidal wave*)
  2. Fasor (*Phasor*)
  3. Perhitungan Dalam Phasor (*Phasor computation*)
- **Pendahuluan**

Ada beberapa alasan mengapa gelombang sinusoida (*alternating current, AC*) mempunyai peranan penting dalam bidang teknik elektro (*electrical engineering*):

- banyak fenomena alam yang bersifat sinusoida, misalnya: getaran dawai gitar, proyeksi satelit ke bumi yang berotasi, gelombang ombak (air) laut, bentuk tegangan sinyal pada rangkaian osilator, dsb
- mudah dibangkitkan (dihasilkan)
- penting untuk transmisi daya, elektronika, komunikasi, dsb
- turunan (*derivative*) – nya dan integralnya berbentuk sinusoida pula
- respon mantap (*steady state response*) rangkaian linier terhadap sumber sinusoida, berbentuk sinusoida pula
- konsep impedansi berlaku untuk gelombang AC
- gelombang-gelombang periodik non sinusoida dapat dinyatakan dalam sejumlah sinusoida dengan deret Fourier (*Fourier Series*) dan gelombang-gelombang non periodik dengan transformasi Fourier (*Fourier Transform*).

8.1 Gelombang Sinusoida (*Sinusoidal waves, sinusoids*)

- **Bentuk Umum**:

  a (t) = A cos (ωt + α), dengan:

a (t) = harga sesaat (*instantaneous value*)

A = amplitude/amplitudo atau harga maksimum (*amplitude*)

ω = kecepatan sudut dalam rad / sec

$\omega = 2\pi/T$ [rad/sec] = $2\pi f$ [rad/sec]

T = perioda [sec]

$f = \frac{1}{T}$ = frekuensi (Hz)

t = waktu [sec]

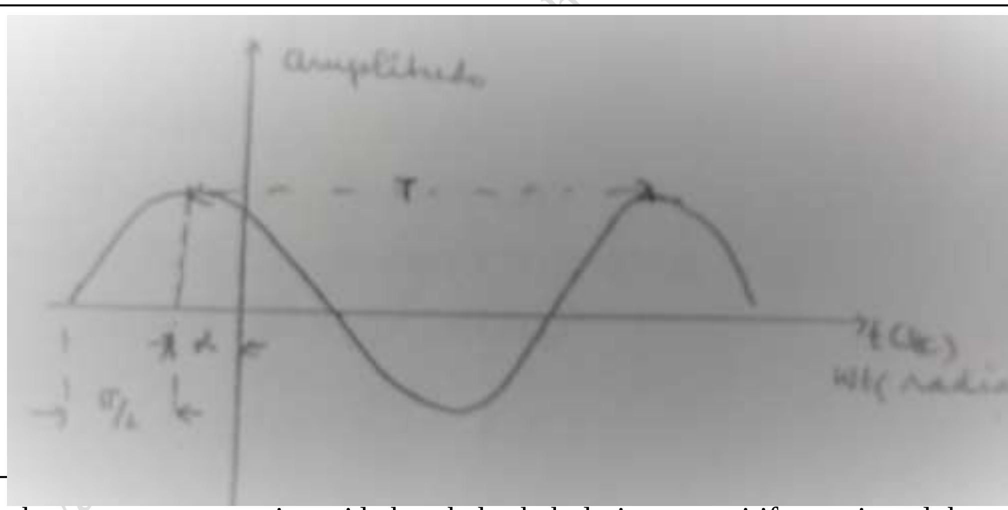
α = sudut phasa [dalam derajat, ^{o} atau rad]

- Sinusoida dapat ditulis dalam bentuk cosinus atau sinus, karena cos dan sin pada dasarnya berbeda phasa 90^o

  Contoh :

  $a = A \cos \omega t = A \sin (\omega t + 90^o)$

  atau $v = V_m \sin (\omega t + \alpha) = V_m \cos (\omega t + \alpha - 90^o)$



Karena harga sesaat suatu sinusoida berubah-ubah dari max positif menuju nol, kemudian ke max negatif, lalu menuju nol lagi, ke max positif dst. berulang-ulang, maka arus atau tegangan yang demikian disebut *Alternating Current* (AC)

- **Bermacam-macam harga pada sinusoida**

Contoh : $v(t) = V_m \cos \omega t$ [volt]

- v (t) = harga sesaat
- V_m = harga max = amplitudo

- $2\ V_m$ = harga puncak ke puncak = harga *peak to peak* (*peak to peak value*) = V_{pp}
- V = harga efektif = harga rms (*effective value*, *root-mean-square value*)

  $= V_m/\sqrt{2}$ = 0,707 V_m (Hanya berlaku untuk gelombang sinusoida)
- $V_{rata\text{-}rata}$ = harga rata-rata (*average value*). Untuk fungsi sinusoida, terdapat:
  - harga rata-rata satu perioda (*full cycle average*) = nol = 0, dan
  - harga rata-rata setengah perioda (*half cycle average*) = $\dfrac{2\ V_m}{\pi}$

8.2 Latihan :

[1]. Suatu arus sinusoida dengan frekuensi 60 Hz mencapai harga max 20 A pada t = 2 m sec. Hitung harga rata-rata setengah perioda, harga rms dan harga sesaat !

Jawab:

- Arus rata-rata setengah perioda = $\dfrac{40}{\pi}$ [A]
- Arus rms = $\dfrac{20}{\sqrt{2}}$ = 10 $\sqrt{2}$ [A]
- Arus sesaat: a (t) = 20 cos [2 $[2\pi(60)t + d]$ = 20 cos [2 [2π (60) t + α]]

  a (2.10^{-3}) = 20 = 20 cos [3 77 x 2.10^{-3} +α]

  cos [0,754 rad + α] = 1 = cos 0^0

  α = 0 – 0,754 x $\dfrac{360^o}{2\pi}$ = – $43{,}2^o$

  Jadi a (t) = 20 cos (377 t – $43{,}2^0$) [A]

[2]. Diketahui suatu tegangan sinusoida dengan frekuensi 50 Hz mencapai harga max 70 V pada t = 3 ms. Hitunglah harga tegangan efektif dan tuliskan persamaan tegangan (bentuk cosinus) sebagai fungsi waktu.

Jawab:

- Tegangan efektif (rms) = 70/(√2) = 35 √2 [V]
- Tegangan sesaat v (t) = 70 cos (2 π x 50 t + α) = 70 cos (314 t + α).

Pada t = 3 msec = 10^{-3} sec → v (3 msec) = 70 = 70 cos (2 π x 50 x 3 10^{-3} + α)

Jadi cos (2 π x 50 x 3 10^{-3} + α) = 1 → (2 π x 50 x 3 10^{-3} + α) = 0

Maka α = − 2 π x 50 x 3 10^{-3} radian = − 2 π x 50 x 3 10^{-3} rad x 360 ^{o}/(2 π rad)

= − 54 ^{o} = − 54 [derajat]

Jadi persamaan tegangan sebagai fungsi waktu (atau Tegangan sesaat) v (t)

v (t) **=** 70 cos (314 t + α) = **70 cos (314 t − 54 ^{o})**

[3]. Diketahui suatu tegangan sinusoida dengan frekuensi 2 kHz mencapai harga max 100 mV pada t = 20 μsec. Hitunglah harga tegangan rata-rata setengah perioda, harga efektif dan tuliskan persamaan tegangan (bentuk cosinus) sebagai fungsi waktu.

Jawab:

- Tegangan rata-rata setengah perioda = $\frac{2\,V_m}{\pi}$ = 200/π = **63,69** [mV]
- Tegangan efektif = 100/(√2) = **70,7107** [mV]
- Tegangan sesaat v (t) = 100 cos (2 π x 2000 x t + α) =

  v (t) **= 100 cos (4000 π t – 14,4º)** [mV]

Cara menghitung α :

Pada t = 20 μsec, maka v (t) = 100 mV. Jadi:

100 cos (2 π x 2000 x 20 μsec + α) = 100 mV → (2 π x 2000 x 20 μsec + α) = 0

α = − 2 π x 2000 x 20 μsec rad = − 2 π x 2000 x 20 μsec rad x 360º /(2 π rad) =

α = − 2000 x 20 μ x 360º = − 14,4º [derajat]

8.3 Phasor

Beberapa contoh masalah rangkaian AC sederhana:

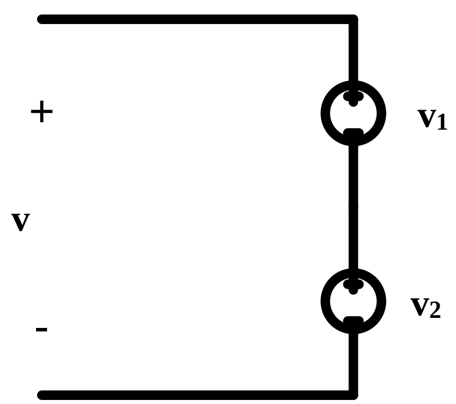
(1). Hitung v, jika v_1 = 20 cos (3t + 53,1º) dan v_2 = 4 sin 3t volt !

Perhatikan bahwa v, v_1 dan v_2 masing-masing adalah fungsi waktu (harga sesaat).

Jawab:

v = v_1 + v_2 = 20 cos (3t + 53,1º) + 4 sin 3t = A cos (3 t + α) ; A = ? ; α =

Ingat rumus: cos(A + B) = cos A cos B − sin A sin B



Penyelesiaan:

- Dengan cara Grafik perlu waktu, harus teliti dalam menggambarkan kedua fungsi
- Dengan cara Matematika: panjang

20 cos 3t cos 53,1^o – 20 sin 3t sin 53,1^o + 4 sin 3t =

v = V_m cos (3 t + α) = ………….

(2). Hitunglah arus i = i (t) pada rangkaian berikut, bila v = v (t) = 100 cos t [V] !

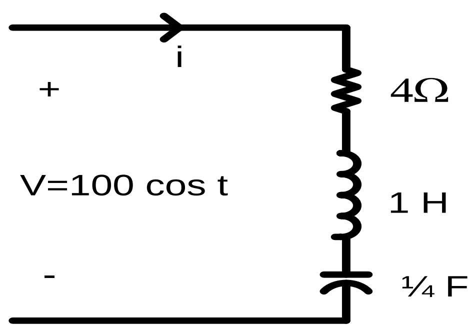
Jawab :

Menurut HTK (Hukum Tegangan Kirchhoff, *Kirchhoff's Voltage Law = KVL*):

$v = v_R + v_L + v_C$

$$= 4\,i + 1\,\frac{di}{dt} + 4\int i\,dt$$

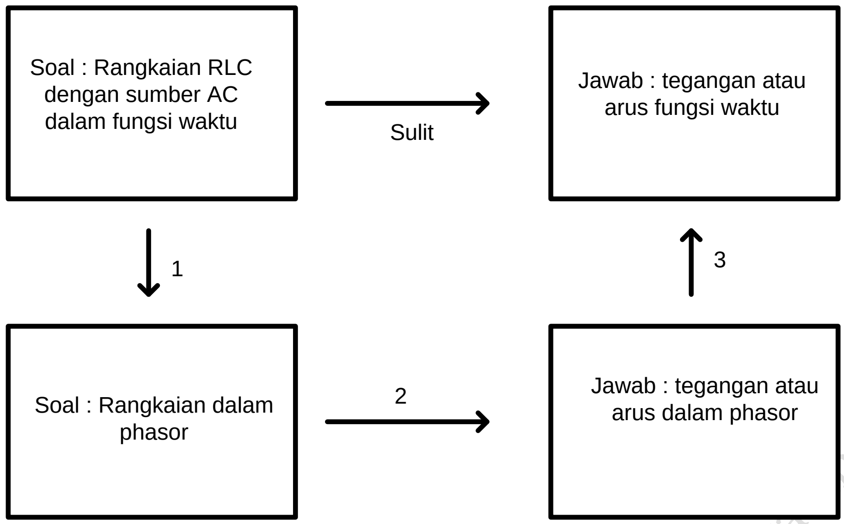
Bagaimana mencari i ? Sulit mencari jawab persamaan integro-diferensial tsb.



Dari kedua contoh di atas terlihat bahwa dengan cara-cara penyelesaian rangkaian listrik yang telah dipelajari selama ini, sulit untuk mencari jawab rangkaian AC di atas, padahal rangkaian tersebut cukup sederhana. Bagaimana jika rangkaian lebih komplex ?

Karena itu, untuk memudahkan mencari jawab rangkaian AC, maka digunakan **metoda phasor**.

- **Metoda Phasor**



- Seperti kita lihat dalam contoh di atas, bekerja dalam fungsi waktu adalah bekerja dalam persamaan integro diferensial yang sulit.
- Untuk memudahkan, digunakan metoda phasor yang terdiri dari 3 langkah, yang digambarkan pada diagram (di atas), yaitu sbb :
  1. Mengubah soal rangkaian RLC dengan sumber AC fungsi waktu **<u>menjadi</u>** rangkaian dengan impedansi dan tegangan serta arus dalam phasor.
  2. Mencari jawab rangkaian dalam phasor. Bekerja dengan phasor analog dengan bekerja dengan vektor atau bekerja dengan bilangan kompleks. Perhitungan persamaan integro diferensial yang sulit; dengan phasor akan diubah menjadi perhitungan aljabar dalam bilangan kompleks (komplex).
  3. Mengubah jawab dalam bentuk phasor **<u>menjadi</u>** jawab dalam fungsi waktu.

- **Mengubah fungsi waktu menjadi phasor dan sebaliknya**

  Misalkan suatu tegangan sinusoida:

  $v = v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta)$

Jika ω diketahui, v dapat ditentukan spesifikasinya dengan lengkap oleh amplitudonya V_m dan phasanya θ. Besaran-besaran ini dinyatakan dalam suatu hubungan bilangan komplex:

$\overline{V}_m = V_m e^{j\theta} = V_m \angle \theta$

Yang didefinisikan sebagai suatu **phasor**. Untuk membedakan phasor dari besaran/bilangan komplex yang lain, phasor ditulis dengan garis (*bar*) di atas huruf besar (huruf kapital):

- $\overline{V}_m$ = phasor tegangan harga max

  $= V_m e^{j\theta} = V_m \angle \theta = V_m \exp(j\Theta)$ { V_m e pangkat $j\Theta$ }
- $\overline{V}$ = phasor tegangan harga efektif (rms) → koreksi **V**

  $= V e^{i\theta} = V \angle \theta = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}} \angle \theta = V \exp(j\theta)$ { V_m e pangkat $j\theta$ }
- $\overline{I}_m$ = phasor arus harga max
- $\overline{I}$ = phasor arus harga efektif (rms)

Motif definisi phasor dapat dilihat dari persamaan sbb:

Suatu elemen pasif linier R, L, C, dengan eksitasi/pemberian sumber energi AC, akan memberikan respon mantap AC dengan frekeunsi sama . Contoh:

- R dialiri arus $i = I_m \cos \omega t$ akan memberikan $v = R_i = RI_m \cos \omega t$
- L dialiri arus $i = I_m \cos \omega t$ akan memberikan $v = L \dfrac{di}{dt} = -\omega L I_m \sin \omega t$

  $= \omega L I_m \cos(\omega t + 90^o)$
- C diberi tegangan $v = V_m \cos \omega t$ akan memberikan arus

  $i = C \dfrac{dv}{dt} = -\omega C V_m \sin \omega t$; $i = \omega C V_m \cos(\omega t + 90^o)$

Dari ketiga contoh tersebut di atas, jelas bahwa respon R, L, C terhadap sumber AC berbentuk AC dengan frekuensi tetap = ω, dengan phasa yang berbeda-beda:

- Pada R: tegangan dan arus <u>sephasa</u> (tegangan dan arus mempunyai phasa yang sama)
- Pada L tegangan berphasa 90^o > dibandingkan arus, dan
- Pada C arus berphasa 90^o > dibandingkan tegangan.

Menurut formula Euler :

- $V_m e^{j(\omega t + \theta)} = V_m \cos(\omega t + \theta) + j V_m \sin(\omega t + \theta)$
- $V_m \cos(\omega t + \theta) = R_e [V_m e^{j\theta} . e^{j\omega t})$
- $V_m \sin(\omega t + \theta) = I_m [V_m e^{j\theta} . e^{j\omega t}]$

Karena ternyata frekuensi ω tetap, maka **dalam perhitungan** $e^{j\omega t}$ tidak diikut sertakan. Perhitungan hanya dengan $V_m e^{j\theta}$; pada jawab terakhir barulah $e^{j\omega t}$ dikembalikan lagi.

Hal yang harus diingat adalah:

- Ada **phasor** berasal dari bentuk cosinus dan ada yang berasal dari sinus. **Atau** dari bagian riel dan dari bagian imajiner $[V_m e^{j\theta} . e^{j\omega t}]$
- Dalam suatu rangkaian kita hanya bekerja dengan satu macam saja, dengan bagian riel saja (bentuk cos) **atau** dengan bagian imajiner saja (bentuk sinus)

Latihan : Tuliskan bentuk phasor soal A_1, A_3

- Untuk mengubah phasor menjadi fungsi waktu, harus diperhatikan phasor tersebut berasal dari bentuk cosinus atau sinus. Phasor yang berasal dari bentuk cosinus, harus dikembalikan ke fungsi waktu dalam bentuk cosinus; demikian pula phasor yang berasal dari bentuk sinus, harus dikembalikan lagi ke bentuk sinus.

8.4. Perhitungan dalam phasor

Dari contoh masalah sebelumnya, yaitu:

$v = v(t) = v_1 + v_2$. dengan $v_1 = 20 \cos(3t + 53{,}1^o)$ dan $v_2 = 4 \sin 3t$ volt. Hitung v !

Jawab :

$v = 20 \cos(3t + 53{,}1^o) + 4 \sin 3t$

Misalkan kita gunakan Phasor harga maksimum, Maka $\overline{V}_m = \overline{V}_{1m} + \overline{V}_{2m}$

Kita akan bekerja dalam cosinus,

jadi $v_1 = 20 \cos(3t + 53{,}1^o)$ dan $v_2 = 4 \sin 3t$ volt $= 4 \cos(3t - 90^o)$

$\overline{V}_{1m} = 20\angle 53{,}1^o$

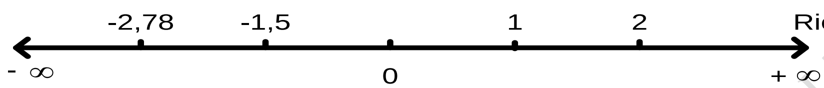
$\overline{V}_{2m} = 4\angle -90^o$

Jadi $\overline{V}_m = 20\angle 53{,}1^o + 4\angle -90^o = ?$

Perhitungan dalam phasor analog dengan perhitungan dalam bilangan kompleks.

Bilangan Kompleks (*Complex Numbers*)

- Bilangan komplex terdiri dari bilangan riel (nyata) dan bilangan imajiner (khayal)
- Bilangan riel (bilangan nyata): digambarkan pada sumber riel (nyata), atau sumbu horisontal (sumbu datar), mulai dari $-\infty$ s/d $+\infty$



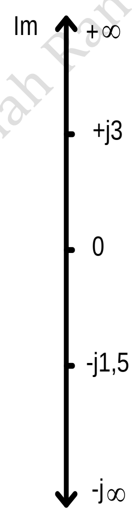
- Bilangan imajiner (khayal): digambarkan pada sumbu imajiner (khayal) atau sumbu vertical (tegak); mulai dari $-j\infty$ s/d $+j\infty$

  $j = \sqrt{-1}$

  $j^2 = -1$

  $j^3 = -j$

  $j^4 = 1$



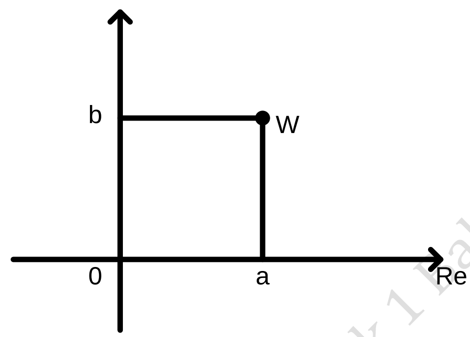
- Bilangan komplex digambarkan pada bidang dengan salib sumbu, sumbu horizontal menyatakan harga riel dan sumbu vertikal harga imajiner. Cara pernyataan demikian dinamakan cara/bentuk Cartesian; cara lain adalah cara polar dan cara eksponensial. Jadi ada 3 cara penulisan bilangan komplex:
  1. Cara Cartesian
  2. Cara Polar
  3. Cara Exponential

1. Cara Cartesian

Misal $w = a + j\,b$

a = bagian rill W

b = bagian imajiner W



Latihan : gambar bilangan-bilangan komplex sb

a) $W_1 = -3 - j4$

b) $W_2 = -8 + j8$

c) $W_3 = 6 - j\,8$

d) $W_4 = -5$

e) $W_5 = -j\,2$

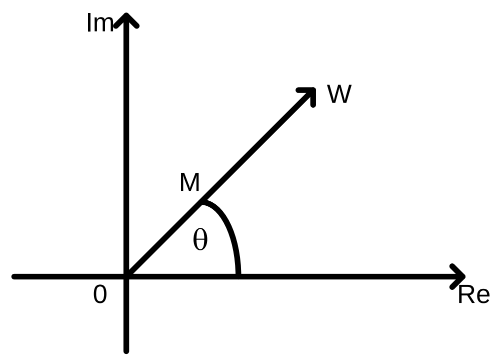
f) $W_6 = 2 + j3$

2. Cara Polar

Misal $W = M \angle \theta$

M = modulus (jarak antara W dan *Origin* = titik nol)

θ = Sudut antara M dengan sumbu horizontal positif



Latihan : gambar bilangan komplex sbb :

a) $W_1 = 10 \angle -90^o$

b) $W_2 = 5 \angle -80^o$

c) $W_3 = 8 \angle -45^o$

d) $W_4 = 8 \angle 120^o$

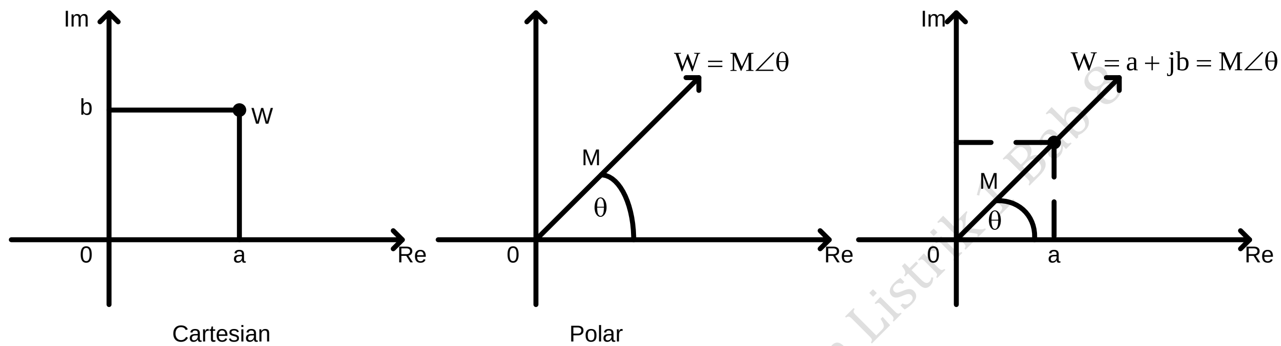
e) $W_5 = 6 \angle -120^o$

3. Cara Eksponensial

Misal $W = M\,e^{j\theta}$. $= M\angle\,\theta$ gambar = cara polar

Hubungan antara bentuk Cartesian, Polar dan Eksponensial (*Exponential*)

1. Hubungan bnetuk Cartesian dengan Polar



Dari gambar :

W = a + jb = M $\angle$ θ

M = $\sqrt{a^2 + b^2}$ dan   = arc tan $\dfrac{b}{a}$ = $\tan^{-1}\dfrac{b}{a}$

Atau

a = M Cos θ   dan b = M Sin θ

Jadi   W = a + jb = $\sqrt{M^2 Cos^2\theta + M^2 Sin^2\theta}$ $\angle \arctan\dfrac{MSin\theta}{MCos\theta}$

= M $\angle\theta$

Latihan : Nyatakan dalam bentuk Cartesian !

a) W = 100 $\angle$ -143,1^o c) W = 10 $\angle$ -90^o

b) W = 50 $\angle$ 126,9^o d) W = 5 $\angle$ -180^o

Nyatakan dalam bentuk Polar soal latihan menggambar bilangan komplex Cartesian

2. Hubungan bentuk Polar dan Exponential

Beberapa buku menyatakan bahwa bentuk polar dan cartesian adalah sama; beberapa buku lain membedakan keduanya.

Pada dasarnya W = M $\angle$ θ = M $e^{j\theta}$, kedua modulus sama, demikian pula sudutnya.

8.5 Soal – soal Latihan dan Tugas

Latihan: Isilah kolom yang kosong dengan jawaban yang benar

Cartesian	Polar	Exponential
1. $W = -3 + j4$	……………..	……………..
2 ……………..	……………..	$W = 5\ e^{-j\,\pi/3}$
3. ……………..	$W = 10\ \angle -120^{o}$	……………..
4. $W = -5 - j^{5}$	……………..	……………..

- **Operasi aljabar dalam bilangan komplex**
    1. Penjumlahan / pengurangan
    2. Perkalian
    3. Pembagian

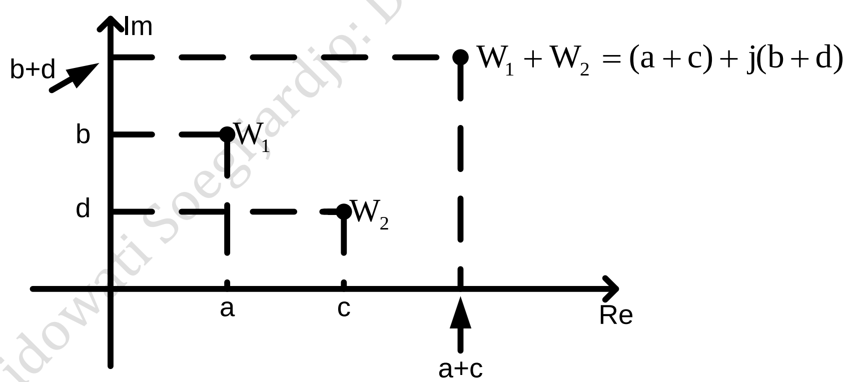
1. Penjumlahan / Pengurangan

Pengurangan = penjumlahan dengan bilangan negatif

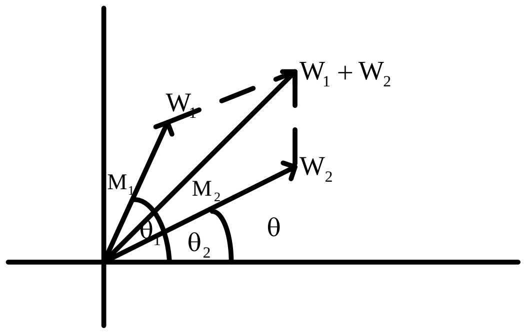
a. Bentuk Catresian

Misal $W_1 = a + jb$ $\qquad$ $W_1 \pm W_2 = (a \pm C) + j\,(b \pm d)$

$W_2 = c + jd$



b. Bentuk Polar



Misal $W_1 = M_1 \angle \theta_1$

$W_2 = M_2 \angle \theta_2$

$W_1 + W_2 \neq M_1 + M_2 \angle \theta_1 + \theta_2$

$W_1 = M_1 \cos \theta_1 + j\, M_1 \sin \theta_1$

$\underline{W_2 = M_2 \cos \theta_2 + j\, M_2 \sin \theta_2} \quad \pm$

$W_1 \pm W_2 = (M_1 \cos \theta_1 \pm M_2 \cos \theta_2) + j\,(M_1 \sin \theta_1 \pm M_2 \sin \theta_2)$

C. Bentuk Eksponensial: lihat b

Ingat $W_1 = M_1\, e^{j\theta_1} = M_1 \angle \theta_1$

$W_2 = M_2\, e^{j\theta_2} = M_2 \angle \theta_2$

2. Perkalian

a. Bentuk Cartesian

$W_1 = a + jb$ $\qquad W_1W_2 = (a + jb)(c + jd)$

$W_2 = C + ja$ $\qquad = (ac - bd) + j(bc + ad)$

b. Polar dan Eksponensial

$W_1 = M_1 \angle \theta_1 = M_1\, e^{j\theta_1}$ $\qquad W_1W_2 = M_1\, e^{j\theta_1} . M_2\, e^{j\theta_2}$

$W_2 = M_2 \angle \theta_2 = M_2\, e^{j\theta_2}$ $\qquad = M_1M_2\, e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$

$= M_1M_2 \angle \theta_1 + \theta_2$

3. Pembagian :

a. Bentuk Cartesian

$W_1 = a + jb$ $\qquad \frac{W_1}{W_2} = \frac{1 + jb}{c + jd} X \frac{c - jd}{c - jd} = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2}$

$W_2 = c + jd$

b. Bentuk Eksponensial

$W_1 = M_1 \angle \theta_1 = M_1 e^{j\theta_1}$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{M_1\angle\theta_1}{M_2\angle\theta_2} = \frac{M_1 e^{j\theta_1}}{M_2 e^{j\theta_2}}$$

$W_2 = M_2 \angle \theta_2 = M_2 e^{j\theta_2}$

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{M_1}{M_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)} = \frac{M_1}{M_2} \angle \theta_1 - \theta_2$$

Latihan :

1. Diketahui $A = 4 - j4$; $B = 10 \angle 60^o$; $C = 2\, e^{-j\pi/6}$

   Hitung : a) $A + B + C$ b) $BC + A$ c) $(B - C)^2$ d) $\sqrt{AC - B}$

   e) $\dfrac{B + C^*}{A^*}$ f) $(A + B^*)/(A^* + C)$

2. Diketahui : $i_1 = 15 \cos(\omega t + 53{,}1^o)$ [A]

   $i_2 = 20 \cos(\omega t - 36{,}9^o)$ [A]

   Hitung $i = i_1 + i_2$

3. Ulangi soal nomor 2, jika $i_1 = 4 \cos(\omega t + 30^o)$ A, dan $i_2 = 6 \sin(\omega t + 60^o)$ A

4. Hitunglah $v = v_1 + v_2$, untuk $v_1 = 40 \sin(\omega t + 45^o)$ dan $v_2 = 20 \cos(\omega t + 45^o)$ volt.

Latihan:

1. Hitung $v = v_1 + v_2$, jika

a. $v_1 = 3 \cos(4t - 30^o)$; $v_2 = 5 \sin 4t$. [volt]

b. $v_1 = 20 (\cos 4t + \sqrt{3} \sin 4t)$ dan

   $v_2 = 3 \cos 4t + 4 \sin 4t$ volt

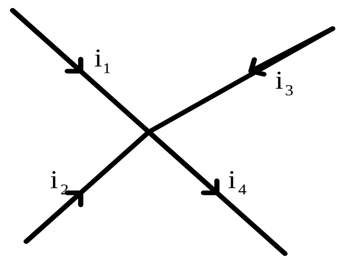
2. Diketahui: $\mathbf{V_1} = 100 \angle(\pi/3)$ dan $v_2 = 75\sqrt{2} \cos(341 t - 30^o)$, keduanya mempunyai frekuensi sinusoida yang sama.

a. Berapakah frekuensi gelombang snusoida tersebut? Jelaskan perhitungan anda.

b. Hitunglah jumlah tegangan $v = v_1 + v_2$

3. Dari suatu rangkaian listrik, diketahui simpul (*node*) seperti gambar berikut.

Hitunglah arus i_4, untuk keadaan a dan b di bawah ini:



a. $i_1 = 5 \cos (3t + 30^o)$

$i_2 = 5 \sin 3\ t$

$i_3 = 5 \cos (3t + 150^o)$

b. $i_1 = 25 \cos (3t - 53{,}1^o)$

$i_2 = 2 \sin 3\ t$; $i_3 = 13 \cos (3t - 22{,}6^o)$

4. Sebuah simulator sistem Radar (*RADAR = Radio Detection and Ranging*) di laboratorium, diketahui mempunyai tegangan berbentuk pulsa segi-empat periodik dengan amplituda = 5 kV dan lebar pulsa sebesar 1 μsec, serta perioda T = 2 msec. Tegangan tersebut diberikan pada sebuah resistor R = 50 ohm yang merupakan simulasi dari suatu antena.

a. Gambarkanlah sketsa tegangan pulsa tersebut sebagai fungsi waktu. Tunjukkan perioda T, amplituda, dan lebar pulsa pada gambar tersebut.

b. Hitunglah jumlah pulsa selama satu perioda dan frekuensi gelombang pulsa tersebut.

c. Hitung harga rata-rata tegangan pulsa tersebut dan daya rata-rata yang didisipasikan pada resistor R tersebut.

5. Diketahui tegangan jala-jala listrik rumah tangga kita di Indonesia adalah 220 volt, 50 Hz. Di Tokyo, tegangan jala-jala listrik rumah tangga adalah 100 volt, 50 Hz dan di Kyoto adalah 100 volt, 60 Hz. Salah satu tegangan jala-jala listrik rumah tangga di Chicago Amerika Serikat adalah 110 volt, 60 Hz.

a. Berapakah harga efektif tegangan jala-jala listrik di Bandung, Tokyo dan Chicago?

b. Tuliskan tegangan sebagai fungsi waktu v = v (t) dalam bentuk cosinus, di Bandung, Tokyo dan Chicago (dengan memasukkan pula informasi tentang frekuensi jala-jala listrik). Jangan lupa mencantumkan pula satuannya.

--- ws ---