

# Parameter impedansi dan aperture antena

A. Adya Pramudita & B. Syihabuddin

Catatan Ajar 3, TTH3G3 - Antena dan Propagasi

S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2020

# Capaian pembelajaran

- Peserta mampu menjelaskan karakteristik circuit antena dengan mendeskripsikan dengan parameter impedansi antena.
- Peserta mampu menjelaskan karakteristik antena sebagai aperture.

# Pokok bahasan

---

Impedansi antenna

---

Impedansi gandeng pada antenna pemancar

---

Impedansi gandeng pada antenna penerima

---

Pengaruh jarak dan orientasi antenna terhadap impedansi gandeng

---

Aperture antenna

---

Contoh aperture antenna

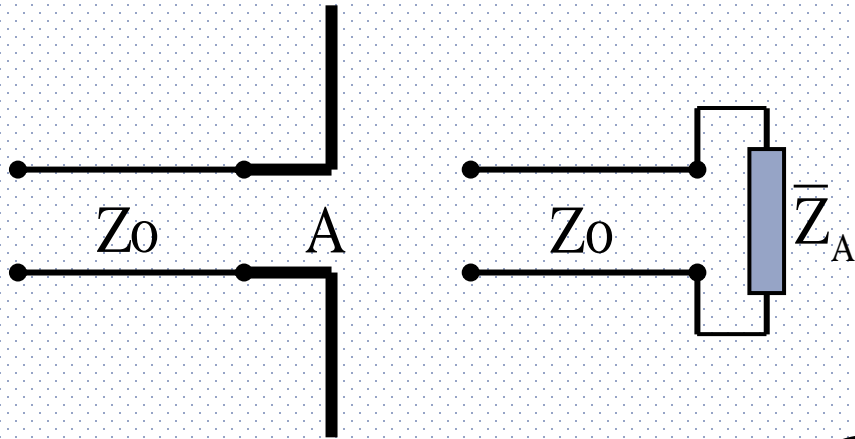
---

Aperture dan directivity gain

---

# Impedansi antena

# Impedansi antenna



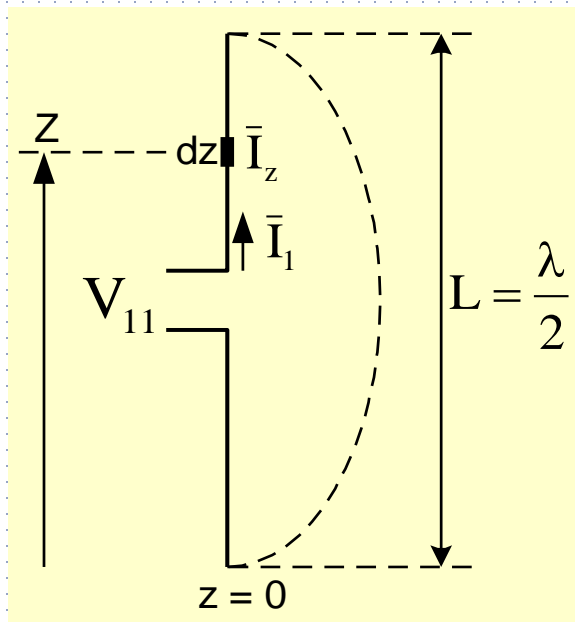
## Impedansi antenna

= Impedansi sendiri +  
Impedansi gandeng

- Dari sisi saluran transmisi, antenna dipandang sebagai jaringan 2 terminal yang disebut sebagai **impedansi terminal / titik catu**
- **Impedansi Sendiri**  
Jika antenna terisolasi dari keadaan sekelilingnya
- **Impedansi Gandeng**  
Jika terdapat 'benda-benda' lain di sekitar antenna dan mempengaruhi antenna

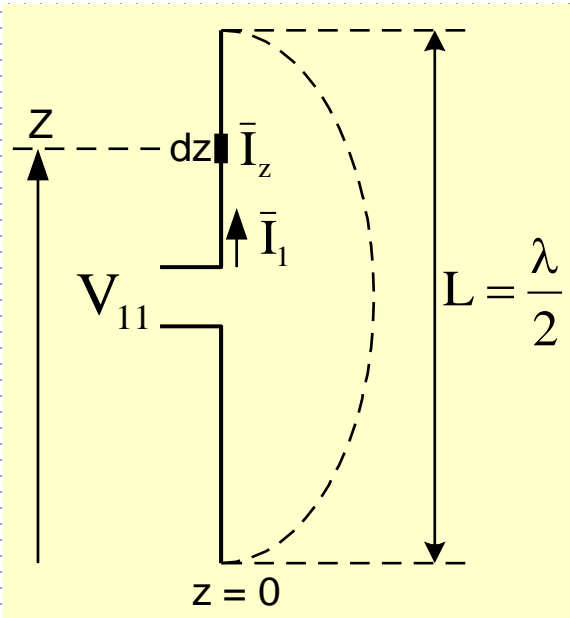


# Impedansi sendiri



- Impedansi sendiri atau self impedance, adalah impedansi yang muncul akibat antenna 'terisolasi' dari keadaan sekeliling.
- Pada bahasan, antenna yang digunakan berupa antenna dipol atau antenna linear tipis.

# Impedansi sendiri



Dengan asumsi, pada antenna dipol berupa

- Arus sinusoidal
- $L$  kelipatan  $\frac{1}{2}\lambda$ ,

Maka impedansi sendiri sebesar,

$$\begin{aligned} Z_{11} &= R_{11} + jX_{11} = 30 \operatorname{Ein}(2\pi n) \\ &= 30[\operatorname{Cin}(2\pi n) + j\operatorname{Si}(2\pi n)] \\ &= 30[0,577 + \ln(2\pi n) - \operatorname{Ci}(2\pi n) + j\operatorname{Si}(2\pi n)] \end{aligned}$$

$$\text{Resistansi Sendiri} = R_{11} = 30 \operatorname{Cin}(2\pi n)$$

$$\text{Reaktansi Sendiri} = X_{11} = 30 \operatorname{Si}(2\pi n)$$

# Impedansi sendiri

( dari Proc. IRE no. 32 April 1934 )

Jika memiliki Panjang sembarang, maka sebesar,

$$R_{11} = 30 \left[ \left( 1 - \cot^2 \frac{\beta L}{2} \right) \text{Cin } 2\beta L + 4 \cot^2 \frac{\beta L}{2} \text{Cin } \beta L \right. \\ \left. + 2 \cot \frac{\beta L}{2} (\text{Si } 2\beta L - 2 \text{Si } \beta L) \right]$$

Untuk panjang  $L \ll$  (kecil sekali) , dari persamaan diatas direduksi menjadi :

$$R_{11} = 5(\beta L)^2$$



# Impedansi sendiri

Jika antenna ditempatkan di atas groundplane , dengan konduktivitas  $\sigma \rightarrow \infty$ , maka :

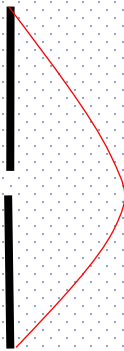
$$Z_A = \frac{1}{2} Z_A \text{ (dgn panjang } 2 \times \text{ antenna tsb)}$$

Atau seolah-olah menjadi monopol.

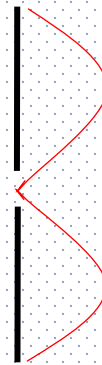
# Karakteristik antena dipol



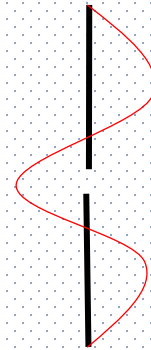
Dipole pendek



$\lambda/2$

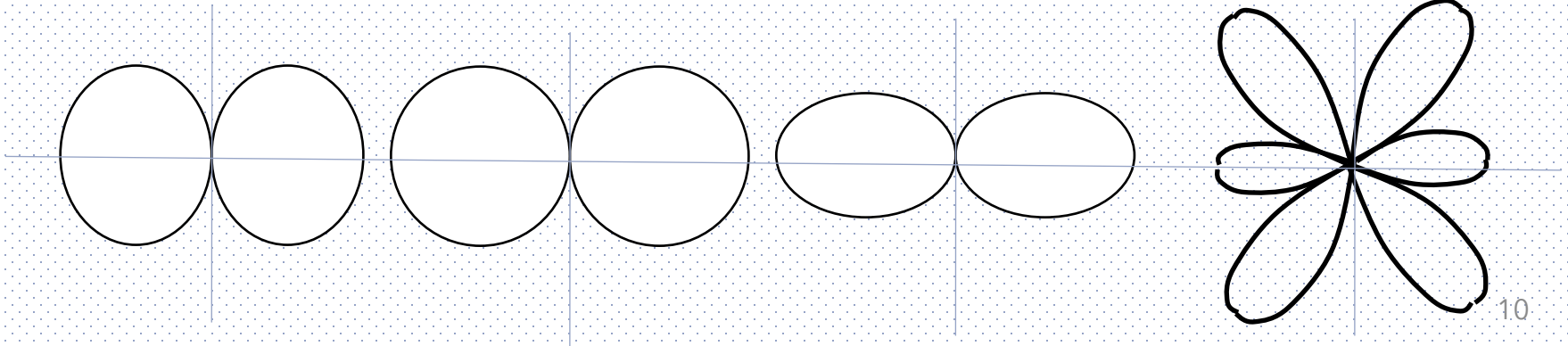


$\lambda$

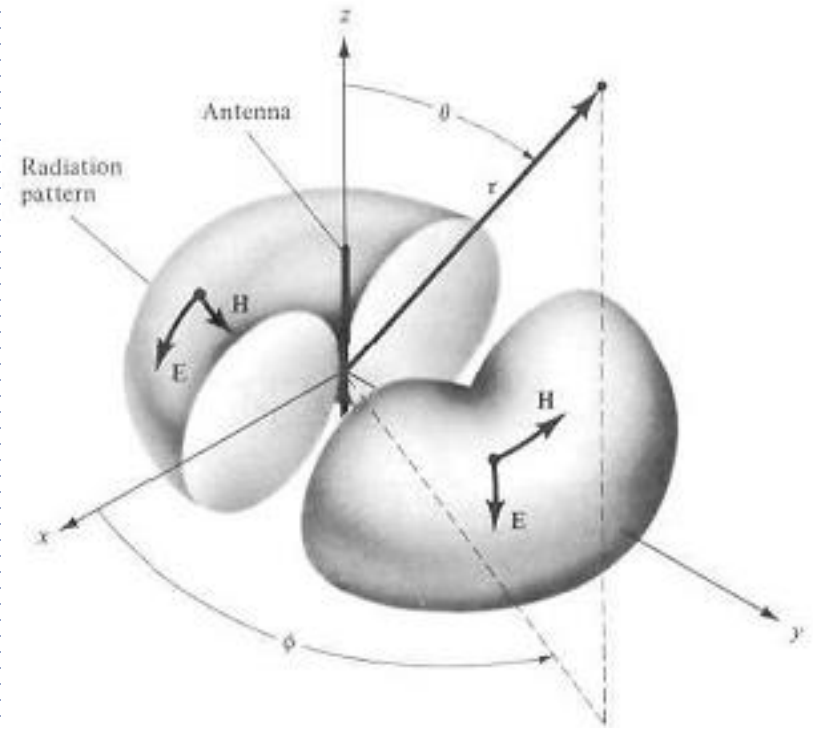
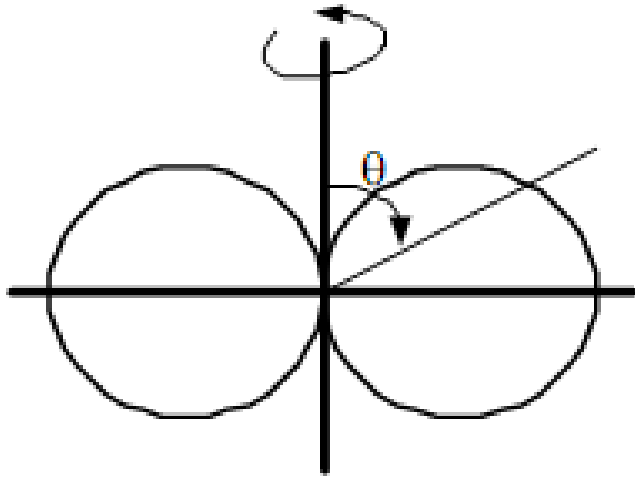


$3\lambda/2$

Pola radiasi



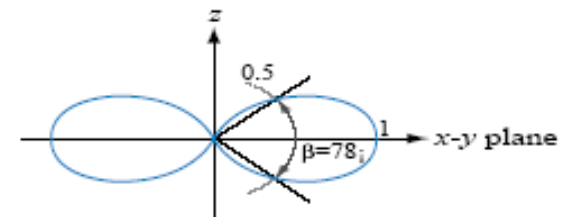
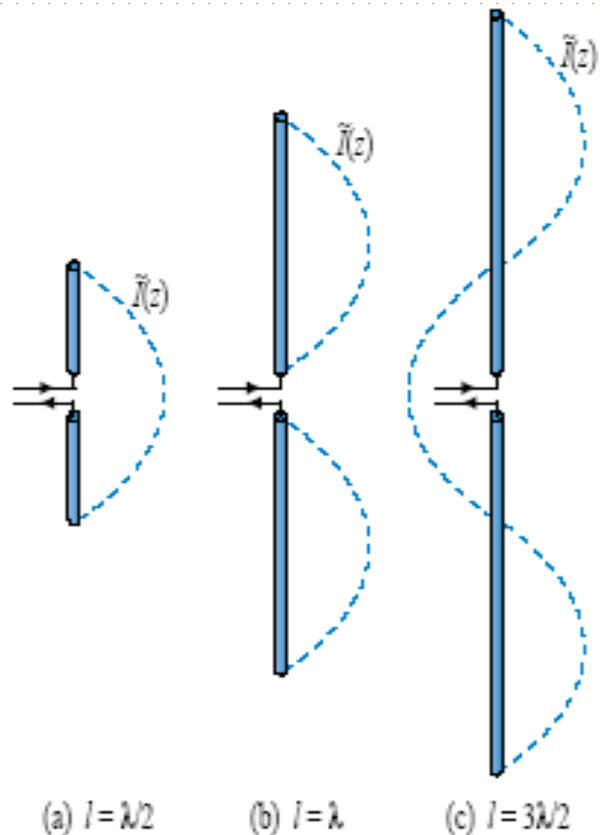
# Karakteristik antena dipol



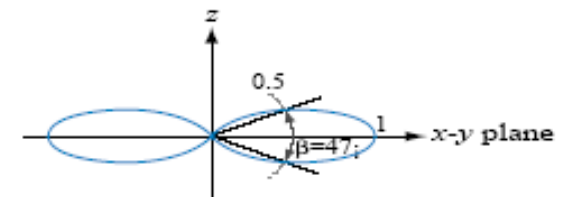
$$E_{\theta} = j \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{J_0 l}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin \theta \left(1 + \frac{1}{j\beta r}\right)$$

$$\bar{H}_{\phi} = \left(\frac{j\beta J_0 l}{4\pi r} e^{-j\beta r} \sin \theta\right) \left(1 + \frac{1}{j\beta r}\right)$$

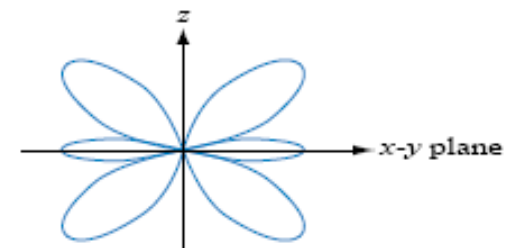
# Karakteristik antenna dipol



(a)  $l = \lambda/2$



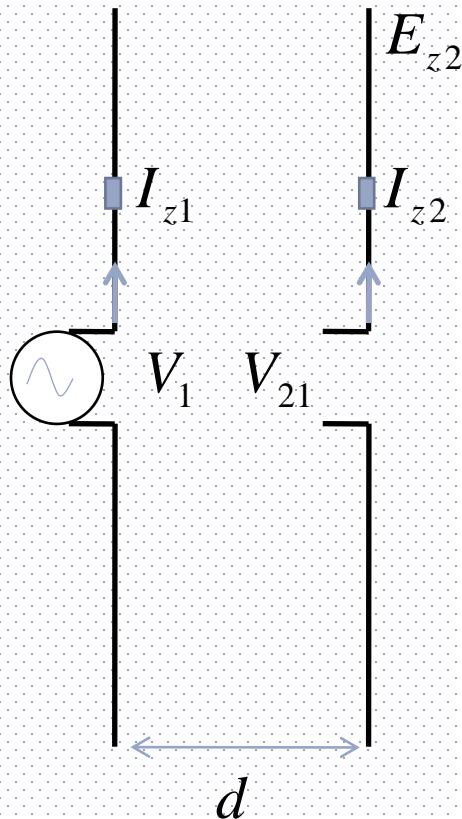
(b)  $l = \lambda$



(c)  $l = 3\lambda/2$

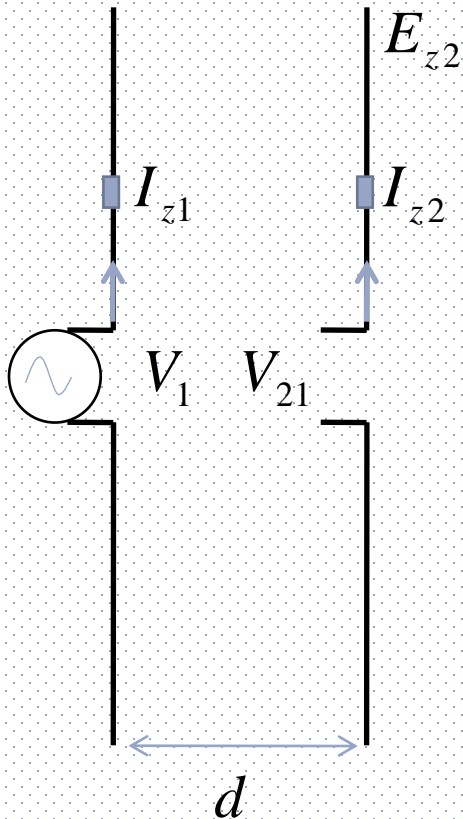
# Impedansi gandeng antena pemancar

# Impedansi gandeng



- Impedansi gandeng atau mutual impedance, adalah impedansi yang muncul akibat 'benda-benda' lain di sekitar antenna dan mempengaruhi antenna.
- Pada bahasan, antenna yang digunakan berupa antenna dipol atau antenna linear tipis.

# Impedansi gandeng



$$V_1 = Z_{11}I_{z1} + Z_{12}I_{z2}$$

$$V_2 = Z_{21}I_{z1} + Z_{22}I_{z2}$$

$Z_{11}$  : Impedansi sendiri antenna 1

$Z_{22}$  : Impedansi sendiri antenna 2

$Z_{21}$  : Impedansi gandeng antenna 1 ke antenna 2

$Z_{12}$  : Impedansi gandeng antenna 2 ke antenna 1

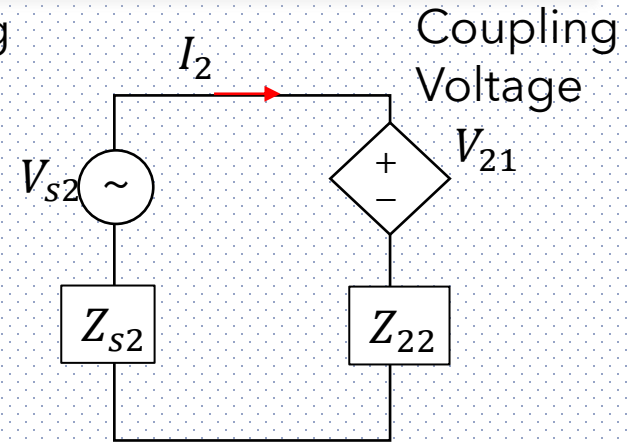
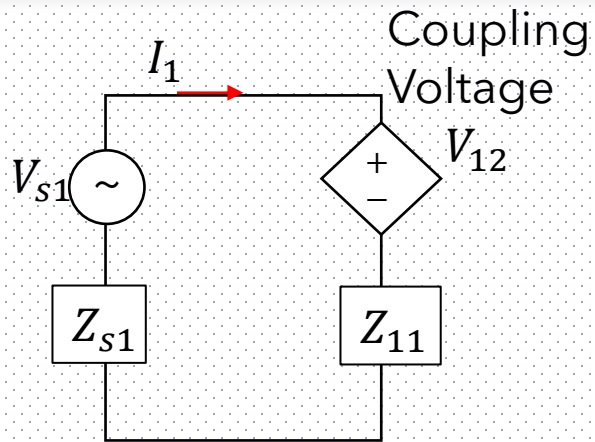
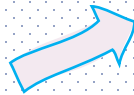
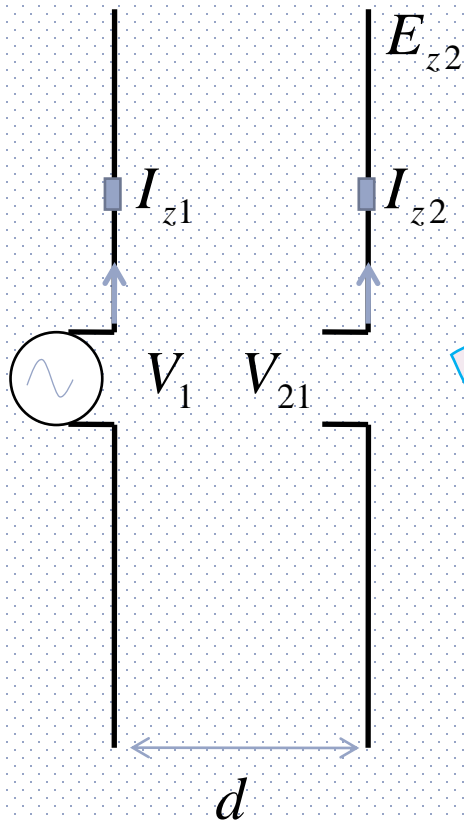
$$Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_{z1}} \right|_{I_{z2}=0} \text{ antenna 2 tidak ada}$$

$$Z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_{z1}} \right|_{I_{z2}=0} \text{ antenna 2 tidak dicatu}$$

$$Z_{\text{antena terpasang}} = Z_{11} + Z_{21}$$



# Impedansi gandeng



Mutual impedance dari antenna 1 ke 2

$$Z_{21} = \left. \frac{-V_{21}}{I_1} \right|_{I_2=0, V_{s2}=0}$$

Mutual impedance dari antenna 2 ke 1

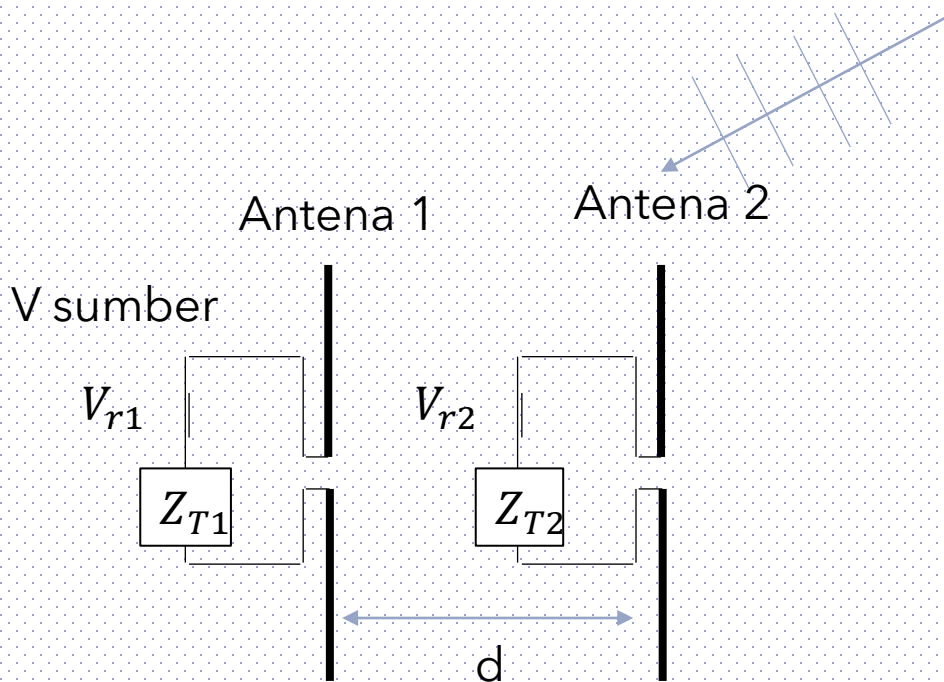
$$Z_{12} = \left. \frac{-V_{12}}{I_2} \right|_{I_1=0, V_{s1}=0}$$

Antena Pemancar

# Impedansi gandeng antena penerima

# Impedansi gandeng

Antena Penerima : tidak ada sumber terhubung



Gelombang datang

Jika  $V_{u1}$  dan  $V_{u2}$  tegangan yang terukur pada  $Z_{T1}$  dan  $Z_{T2}$  saat antena diisolasi

Mutual impedance dari antena 1 ke 2

$$Z_{21} = \frac{V_{u2} - V_{r2}}{I_1} \Big|_{I_2=0},$$

Mutual impedance dari antena 2 ke 1

$$Z_{12} = \frac{V_{u2} - V_{r2}}{I_2} \Big|_{I_1=0},$$

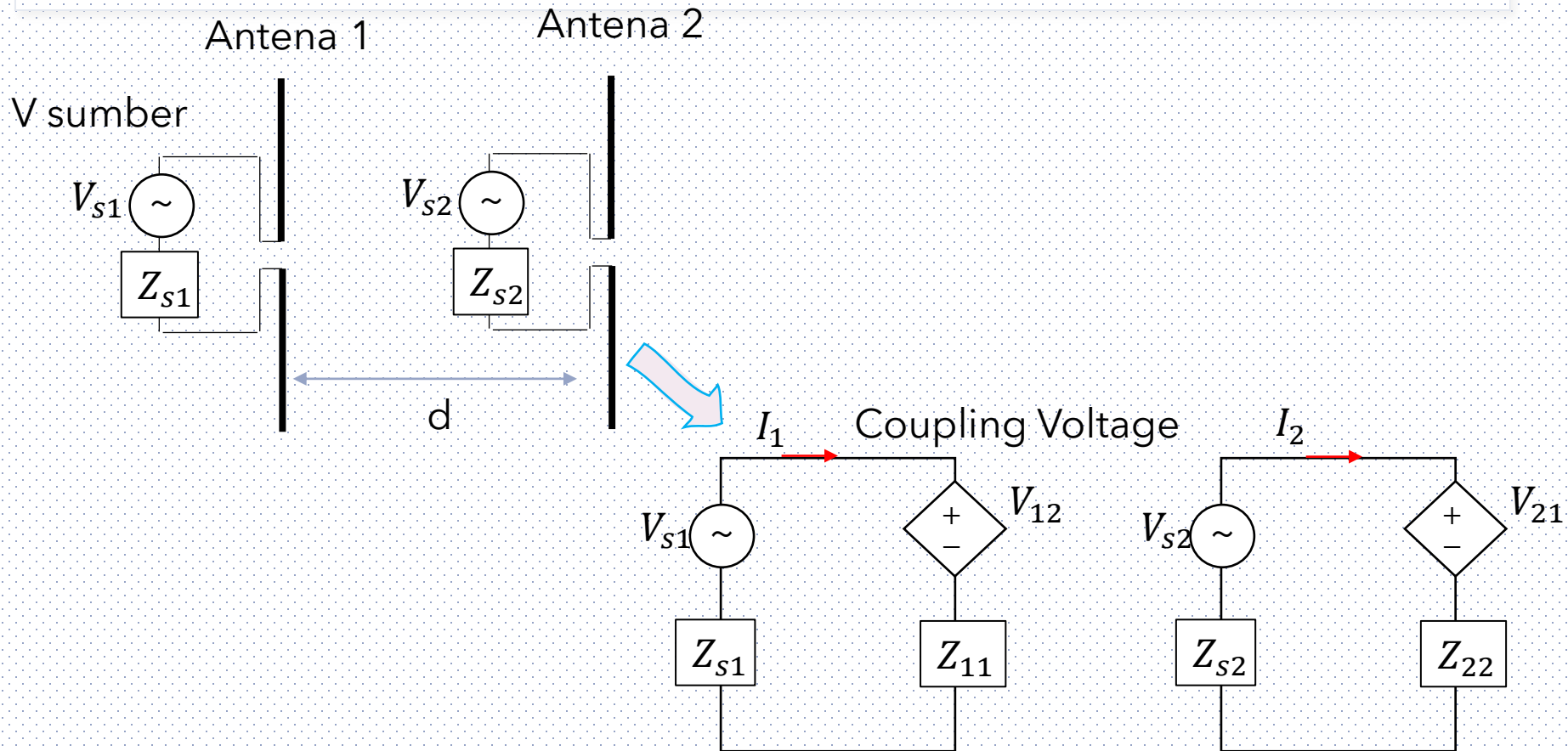
$Z_{T1}$  dan  $Z_{T2}$  adalah impedansi beban pada terminal antena 1 dan 2

# Pengaruh impedansi gandeng

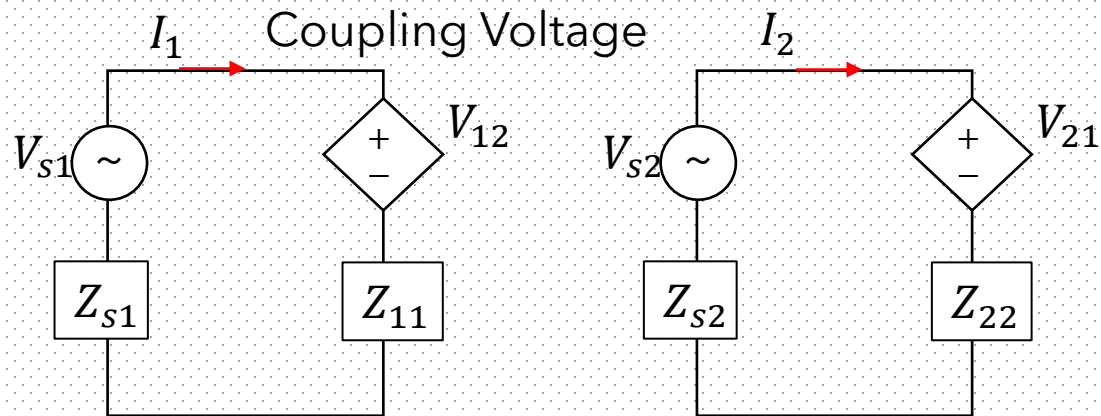
# Pengaruh impedansi gandeng

1. Mengubah matching impedance
2. Mengubah besar tegangan atau arus yang diterima pada terminal antena
3. Mengubah Polaradiasi (Gain atau Direktivitas)

# Mengubah matching impedance



# Mengubah matching impedance



$$Z_{21} = \left. \frac{-V_{21}}{I_1} \right|_{I_2=0, V_{s2}=0}$$

$$Z_{s1} = 0$$

$$Z_{s2} = 0$$

$$Z_{12} = \left. \frac{-V_{12}}{I_2} \right|_{I_1=0, V_{s1}=0}$$

$$V_{s1} = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12}$$

$$V_{s2} = I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22}$$



# Mengubah arus pada terminal

$$Z_{21} = \left. \frac{-V_{21}}{I_1} \right|_{I_2=0, V_{S2}=0}$$

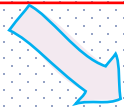
$$Z_{S1} = 0$$

$$Z_{S2} = 0$$

$$Z_{12} = \left. \frac{-V_{12}}{I_2} \right|_{I_1=0, V_{S1}=0}$$

$$V_{S1} = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12}$$

$$V_{S2} = I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22}$$



Arus Saat terisolasi

$$I_1 = \frac{V_{S1}}{Z_{11}}$$

$$I_2 = \frac{V_{S2}}{Z_{22}}$$

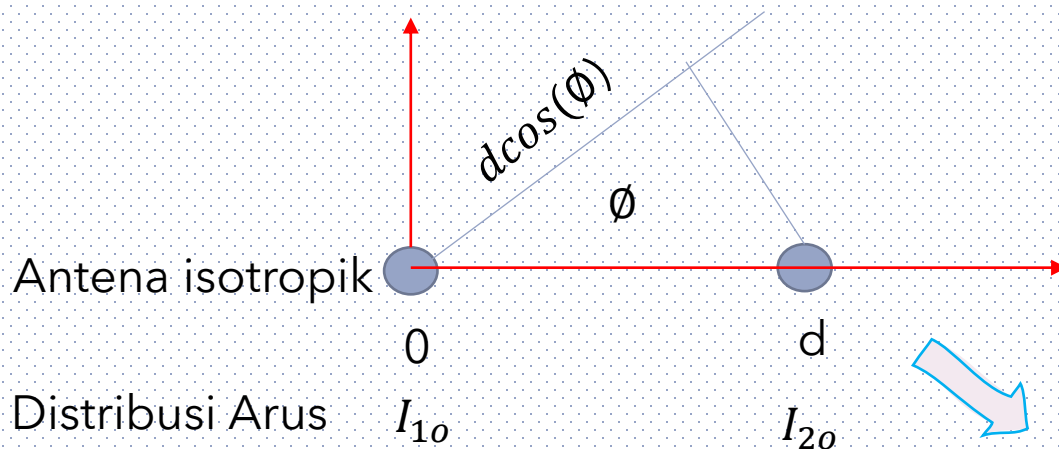


Arus Saat ada mutual coupling

$$I_1 = \frac{V_{S1} - V_{12}}{Z_{11}}$$

$$I_2 = \frac{V_{S2} - V_{21}}{Z_{22}}$$

# Mengubah pola radiasi



$$|E| = (I_{10} + I_{20}e^{jd\cos(\phi)})$$

Arus Saat terisolasi

$$I_1 = \frac{V_{S1}}{Z_{11}}$$

$$I_2 = \frac{V_{S2}}{Z_{22}}$$

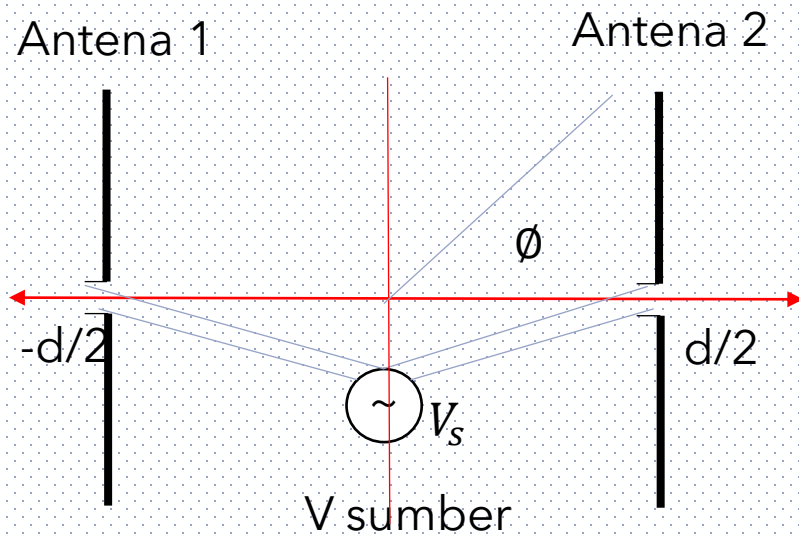
Arus Saat ada mutual coupling

$$I_1 = \frac{V_{S1} - V_{12}}{Z_{11}}$$

$$I_2 = \frac{V_{S2} - V_{21}}{Z_{22}}$$

Jika distribusi arus berubah maka E juga akan berubah

# Mengubah gain



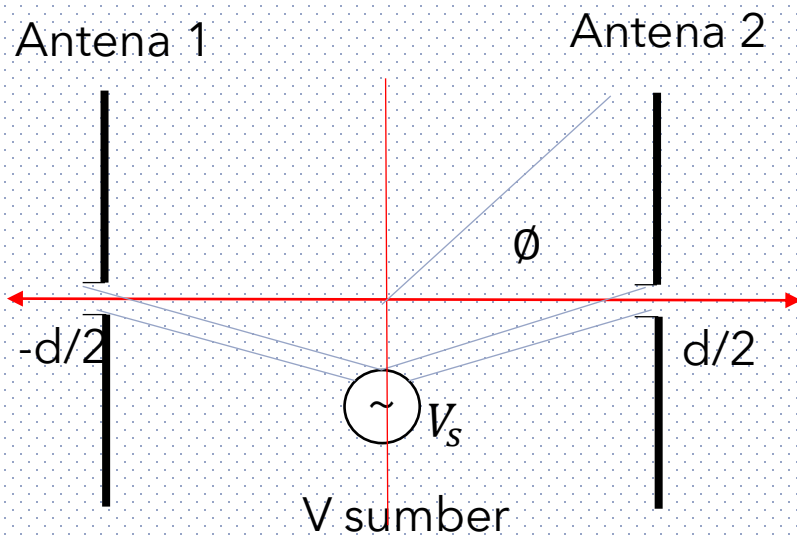
$$\text{Daya total } P = P_1 + P_2 = 2I_1^2 (Z_{11} + Z_{12})$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{2(Z_{11} + Z_{12})}}$$

Jika daya  $P$  dieksitasikan pada 1 antenna saja

$$I_o = \sqrt{\frac{P}{Z_{11}}}$$

# Mengubah gain



Jika antena 1 dan 2 identik,  $I_1$  dan  $I_2$  sama dan sefasa maka

$$V_{s1} = I_1(Z_{11} + Z_{12})$$

$$\text{Daya pada antena 1 : } P_1 = I_1^2 (Z_{11} + Z_{12})$$

$$V_{s2} = I_2(Z_{22} + Z_{21})$$

$$\text{Daya pada antena 2 : } P_2 = I_2^2 (Z_{22} + Z_{21})$$

$$\text{Dengan } I_1 = I_2, Z_{11} = Z_{22}, Z_{21} = Z_{12}$$

$$|E_{\text{array 2 ant}}| = 2 \sqrt{\frac{P}{2(Z_{11} + Z_{12})}} \cos\left(\frac{d \cos \phi}{2}\right)$$

$$|E_{1 \text{ ant}}| = \sqrt{\frac{P}{Z_{11}}}$$

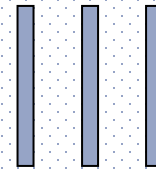
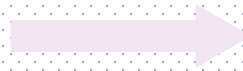
$$\text{Rasio susunan} = G_{f1} = \sqrt{\frac{2Z_{11}}{Z_{11} + Z_{12}}} \cos\left(\frac{d \cos \phi}{2}\right)$$

# Pengaruh jarak dan orientasi antena

# Impedansi gandeng

3 macam posisi  
relatif,

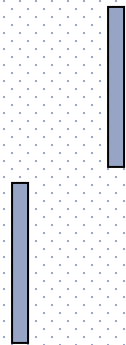
- Side by side



- Kolinier



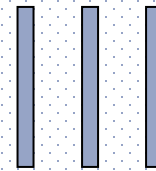
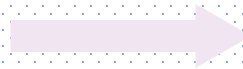
- Staggered



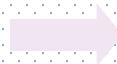
# Impedansi gandeng

3 macam posisi  
relatif,

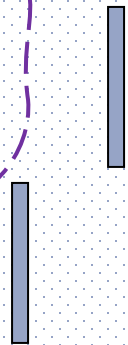
- Side by side



- Kolinier

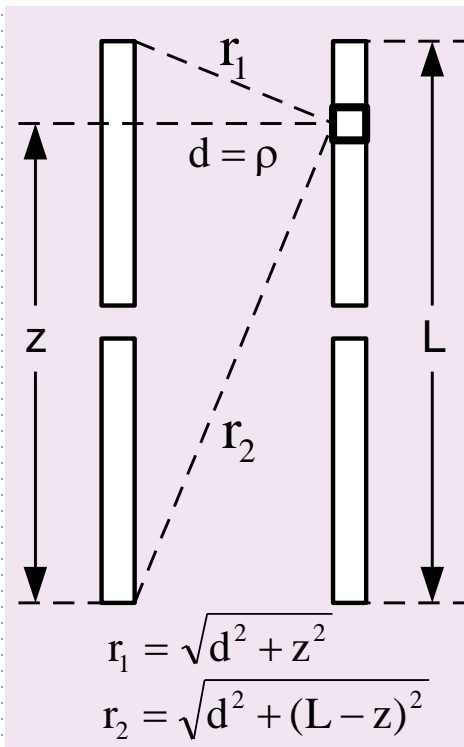


- Staggered





# Side by Side / paralel



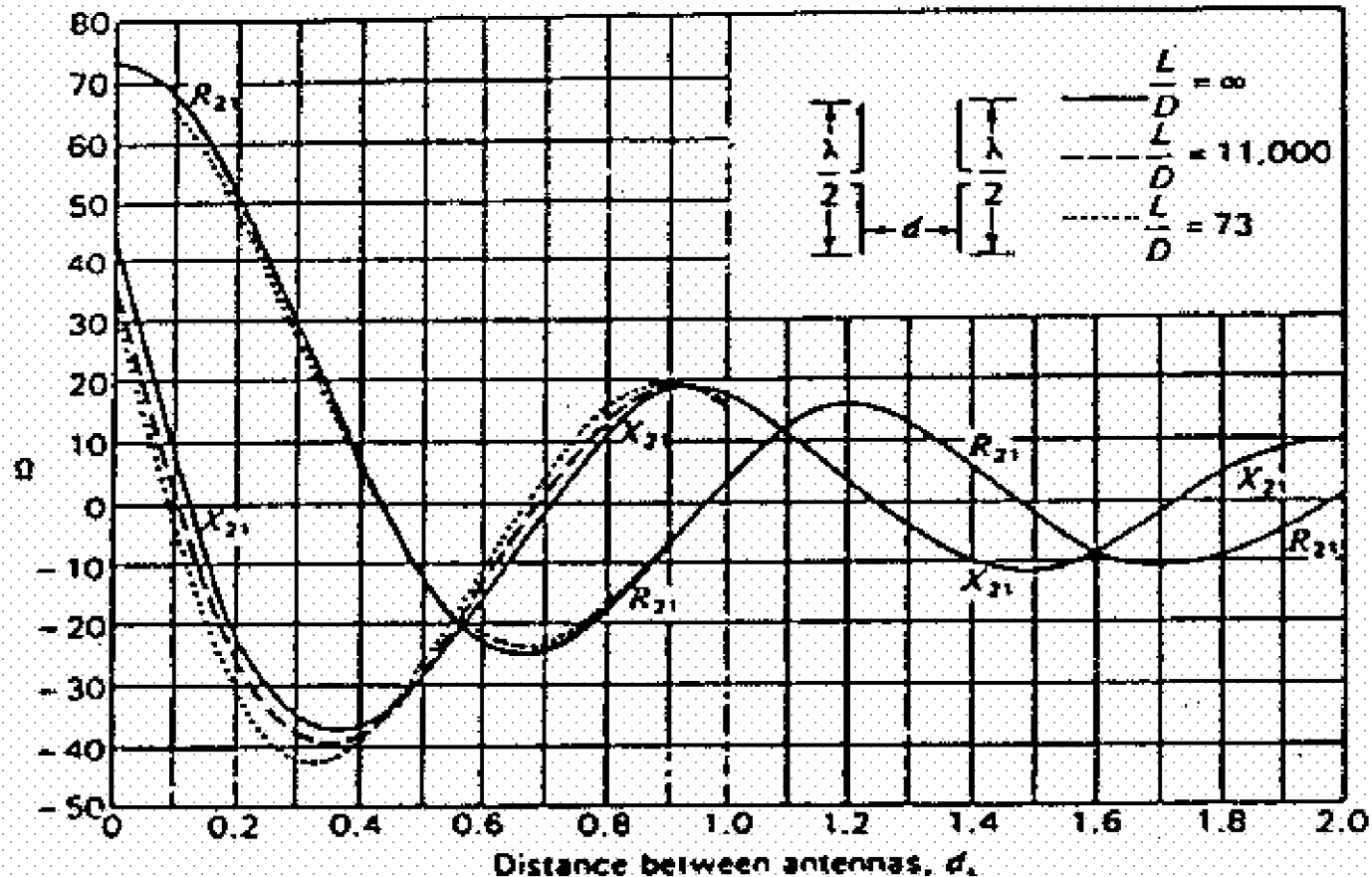
Besar impedansi  
gandeng dengan  
susunan side by side atau  
tersusun parallel dapat  
dihitung dengna  
persamaan R21 dan X21

$$R_{21} = 30 \left\{ 2Ci(\beta d) - Ci\left(\beta \left[ \sqrt{d^2 + L^2} + L \right]\right) - Ci\left(\beta \left[ \sqrt{d^2 + L^2} - L \right]\right) \right\}$$

$$X_{21} = -30 \left\{ 2Si(\beta d) - Si\left(\beta \left[ \sqrt{d^2 + L^2} + L \right]\right) - Si\left(\beta \left[ \sqrt{d^2 + L^2} - L \right]\right) \right\} \quad 30$$

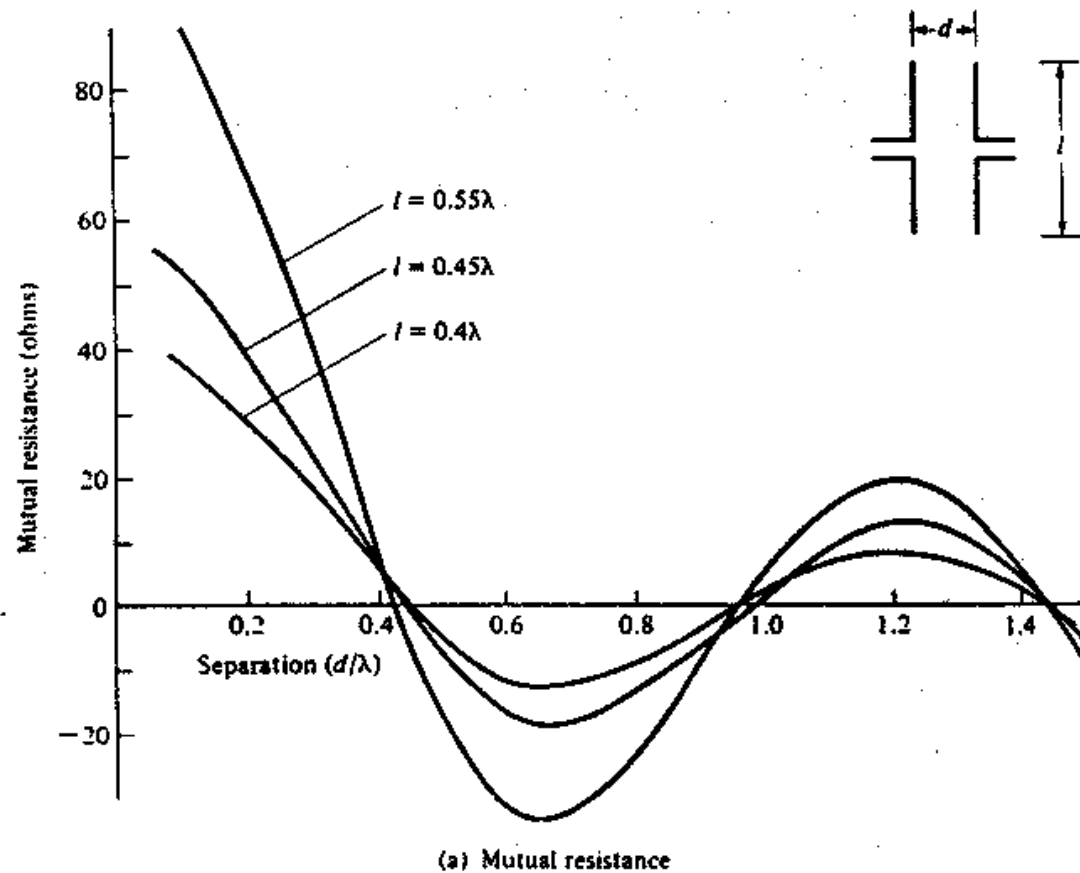
# Side by Side / paralel

Atau menggunakan grafik dipole  $\frac{1}{2}\lambda$ , dengan jarak tertentu.



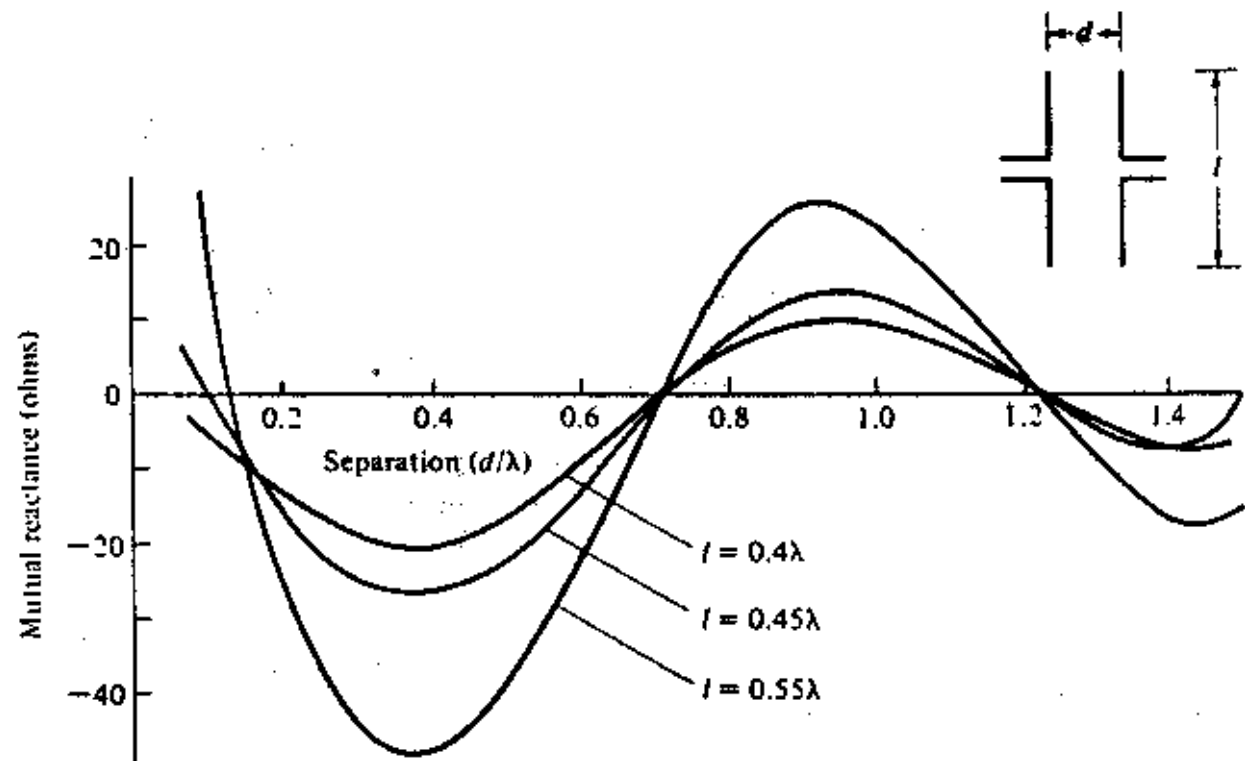
# Side by Side / paralel

Ilustrasi  
pengaruh  
Panjang dipol  
terhadap  
resistansi  
gandeng yang  
tersusun paralel



# Side by Side / paralel

Ilustrasi  
pengaruh  
Panjang dipol  
terhadap  
reaktansi  
gandeng yang  
tersusun paralel



# Kolinear

Besar impedansi gandeng dengan susunan kolinear dapat dihitung dengan persamaan R21 dan X21

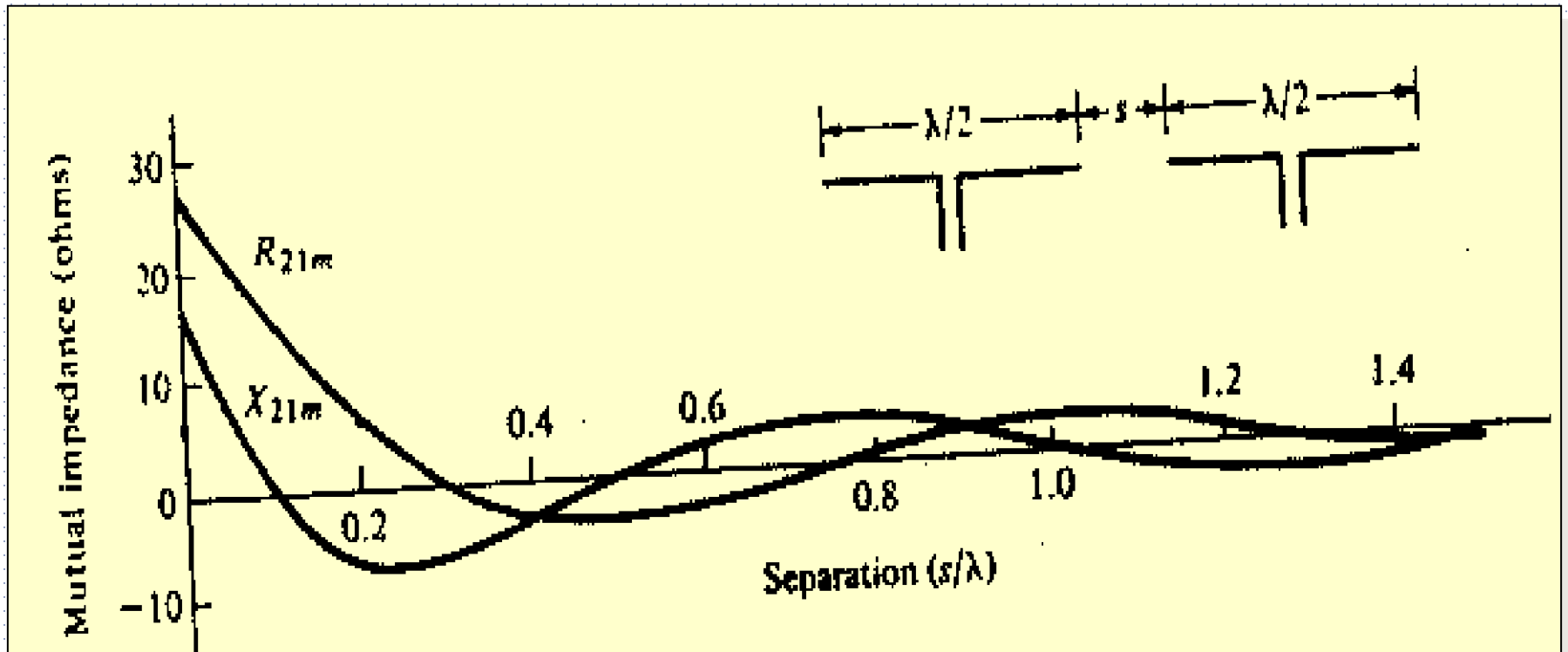
$$R_{21} = -15 \cos \beta h \left[ 2 \operatorname{Ci} 2\beta h + \operatorname{Ci} 2\beta(h-L) + \operatorname{Ci} 2\beta(h+L) - \ln \left( \frac{h^2 - L^2}{h^2} \right) \right] \\ + 15 \sin \beta h [2 \operatorname{Si} 2\beta h - \operatorname{Si} 2\beta(h-L) - \operatorname{Si} 2\beta(h+L)]$$

$$X_{21} = -15 \cos \beta h [2 \operatorname{Si} 2\beta h - \operatorname{Si} 2\beta(h-L) - \operatorname{Si} 2\beta(h+L)] \\ + 15 \sin \beta h \left[ 2 \operatorname{Ci} 2\beta h - \operatorname{Ci} 2\beta(h-L) - \operatorname{Ci} 2\beta(h+L) - \ln \left( \frac{h^2 - L^2}{h^2} \right) \right]$$

$$s = h - L \rightarrow h = s + L$$

# Kolinear

Atau menggunakan grafik dipole  $\frac{1}{2}\lambda$ , dengan jarak tertentu.



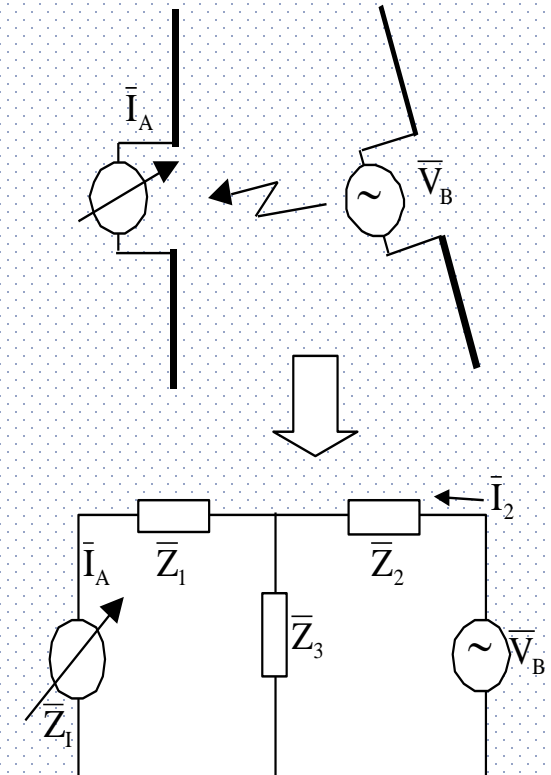
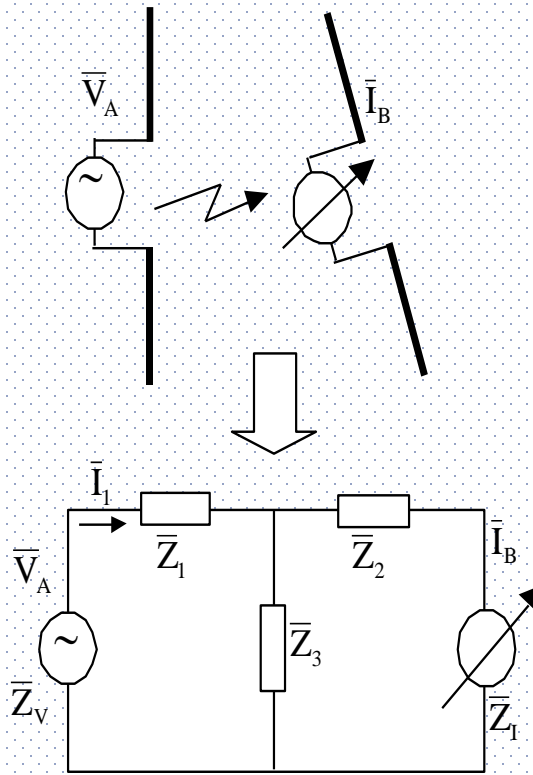
# Aperture antenna



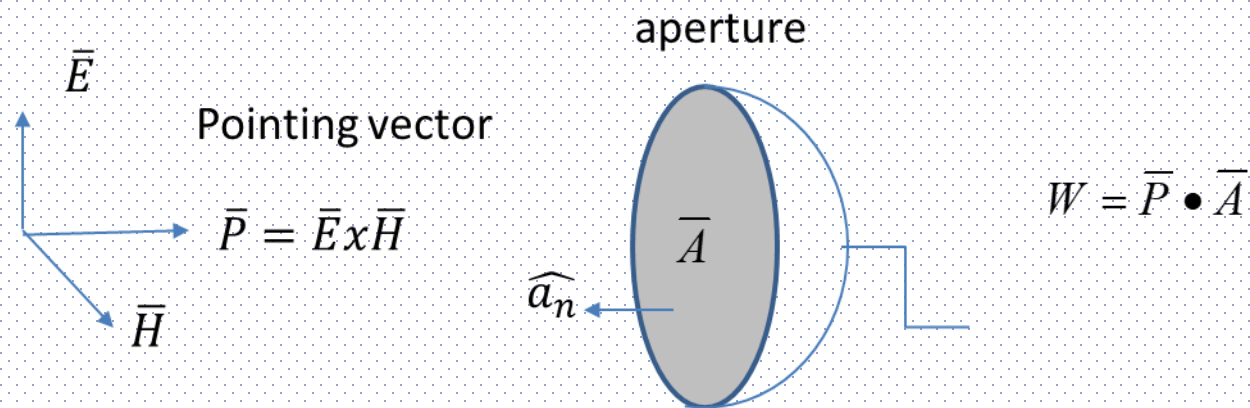
# Resiproksitas Carson

Teorema resiproksitas Carson membuktikan bahwa karakteristik antena sebagai pemancar juga berlaku pada antena sebagai penerima.

Dengan asumsi dasar transmisi energi antara antena A dan B melalui medium homogen, isotropis, linear dan pasif, maka dapat dimodelkan dengan rangkaian-T.



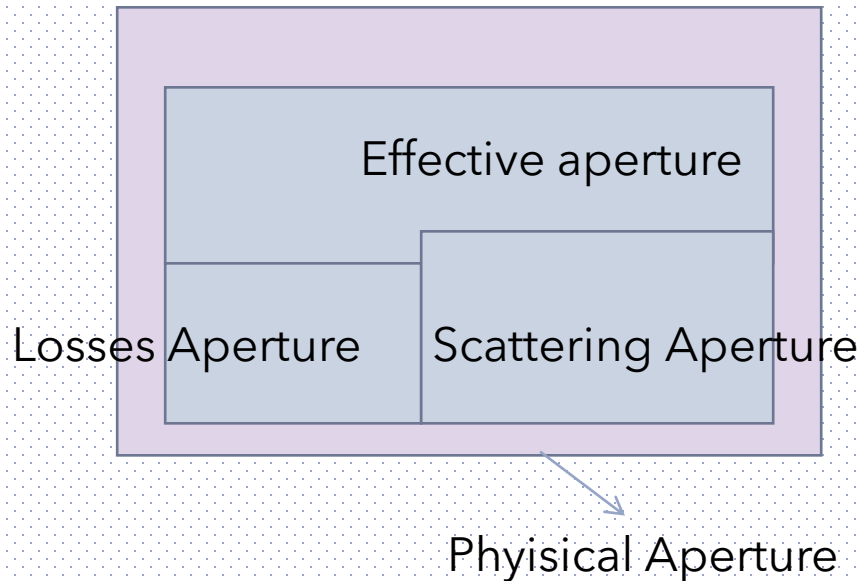
# Aperture antenna



Konsep aperture antenna memandang sebuah antenna sebagai luasan yang menerima atau menangkap daya dari gelombang elektromagnetik

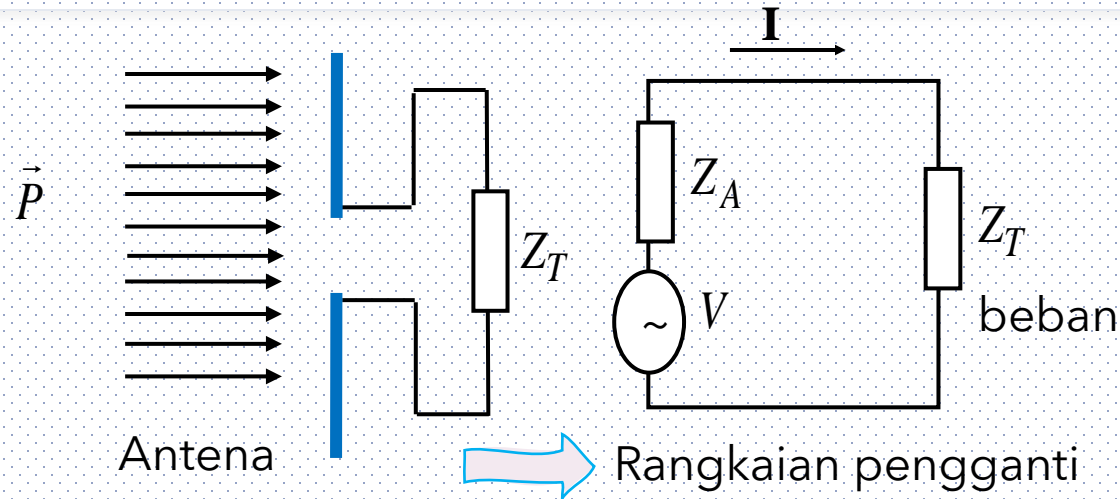
Besar daya akan sebanding dengan luasan penampang dari antenna. Aperture antenna biasanya antara 50%-70% dari ukuran sesungguhnya dan daya yang tidak diterima antenna akan menjadi panas, dipantulkan Kembali dan sebagainya.

# Jenis aperture antenna



1. Aperture efektif
2. Aperture hambur
3. Aperture redaman
4. Aperture pengumpul
5. Aperture fisik

# Konsep aperture antenna



Antena dengan beban catu  $Z_T$  menerima rapat data  $\vec{P}$

$$I = \frac{V}{Z_A + Z_T}$$

$$Z_T = R_T + jX_T$$

$$Z_A = R_A + jX_A$$

$$R_A = R_r + R_L$$

$R_r$  = Radiation resistance

$R_L$  = Ohmic resistance

# Konsep aperture antenna

$$I = \frac{V}{Z_A + Z_T} \quad \leftarrow \begin{aligned} Z_T &= R_T + jX_T \\ Z_A &= R_A + jX_A \\ R_A &= R_r + R_L \end{aligned}$$

$R_r$  = Radiation resistance

$R_L$  = Ohmic resistance

$$I = \frac{V}{\sqrt{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2}} \quad \xrightarrow{W = I^2 R} \quad W = \frac{V^2 R}{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2}$$
$$\text{Aperture} = \frac{W}{P} = \frac{V^2 R}{P \{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2\}}$$

# Aperture efektif

Jika  $R_T$  adalah impedansi dari daya yang dikirim ke penerima

$$A_e = \frac{W_T}{P} = \frac{V^2 R_T}{P \cdot \{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2\}}$$

Aperture efektif diperoleh dengan kondisi, antena memiliki orientasi optimal ( $\alpha = 0$ ), sepadan ( $\bar{Z}_T = \bar{Z}_A^*$ ) dan tidak ada rugi ohmic ( $R_L = 0$ ),

$$A_{em} = \frac{W_T'}{P} = \frac{V^2}{4P \cdot R_r} = \frac{V^2}{4P \cdot R_T}$$

# Aperture efektif

Effectiveness Ratio (  $\eta$  ), atau antenna efisiensi akan sebanding dengan,

$$\eta = A_e / A_{em} \quad \text{dengan} \quad 0 \leq \eta \leq 1$$

Daya yang dikirim akan lebih kecil dari WT, jika pada saluran transmisi terdapat redaman. Seperti contoh, secara umum pada antenna dipol memiliki Panjang efektif sebesar 70% dari Panjang sebenarnya.

# Aperture hambur

$R_r$  adalah daya yang dipantulkan kembali ke ruang bebas,

$$A_s = \frac{W_s}{P} = \frac{V^2 R_r}{P \cdot \{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2\}}$$

Jika antenna lossless,  $R_L = 0$ ,  $R_r = R_T$ ,  $X_T = -X_A$  (kondisi matched), maka,

$$A_s' = \frac{V^2}{4P \cdot R_r} = \frac{V^2}{4P \cdot R_T}$$

$A_s'$  = Aperture hambur sepadan



# Aperture hambur

$$A_s' = \frac{V^2}{4P.R_r} = \frac{V^2}{4P.R_T}$$

Jika  $Z_T = 0$  maka  $A_{sm} = \left( \frac{V^2}{P.R_r} \right) = 4 \times A_s'$  atau  $A_{sm} = 4 \times A_{em}$ .

*Ini merupakan konsep dari parasitic elemen antena Yagi serta reflector antena*

Ratio hambur

$$\beta = A_s / A_e \quad 0 \leq \beta \leq \infty$$

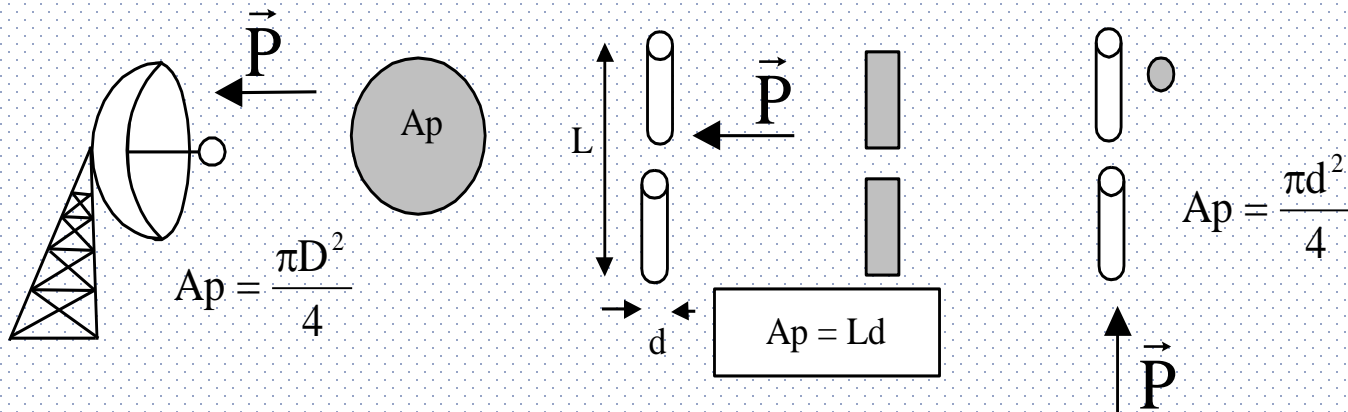
# Aperture redaman

$R_L$  adalah daya yang menjadi panas, maka aperture redaman adalah,

$$A_L = \frac{W_L}{P} = \frac{V^2 R_L}{P \cdot \{(R_r + R_L + R_T)^2 + (X_A + X_T)^2\}}$$

# Aperture fisik

Aperture fisik adalah luasan maksimum yang tegak lurus terhadap arah datang gelombang EM.



Ratio serapan (absorption ratio),

$$\gamma = \frac{A_{em}}{A_p} \quad 0 \leq \gamma \leq \infty$$

# Contoh aperture antena

---

sebagai pemancar

# Dipole pendek

Antena dipol pendek ( $L < 0,1 \lambda$ )

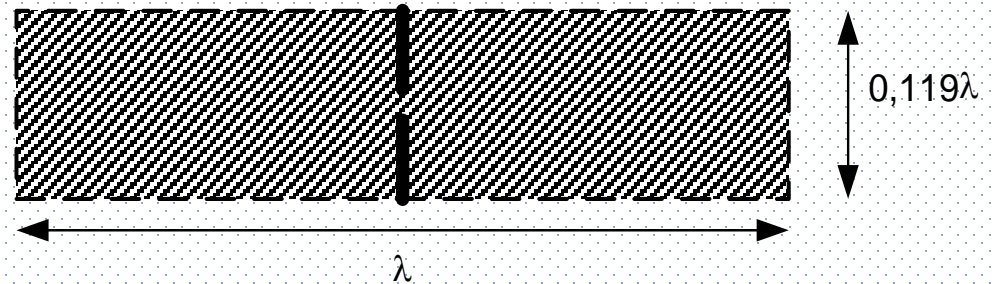
$$V = E.L$$

$$R_r = \frac{80\pi^2 L^2}{\lambda^2}$$

$$P = \frac{E^2}{\eta_0} = \frac{E^2}{(120\pi)}$$

$$A_{em} = \frac{V^2}{4P.R_r} = \frac{V^2}{4P.R_T}$$

$$A_{em} = \frac{120.\pi.E^2.L^2\lambda^2}{320.\pi^2.E^2.L^2} = \frac{3\lambda^2}{8\pi} = \mathbf{0,119\lambda^2}$$



Aperture efektif dari antena dipol pendek

# Dipole $1/2 \lambda$

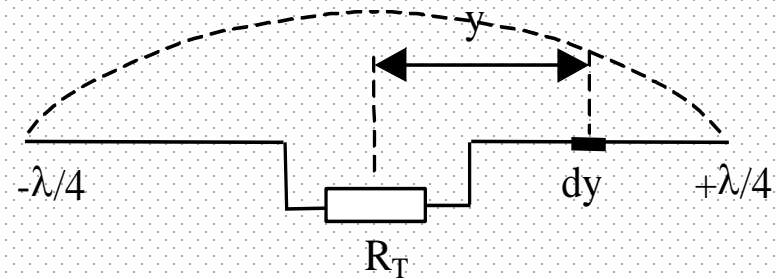
Antena dipol  $1/2 \lambda$

$$I = I_0 \cdot \cos \frac{2\pi y}{\lambda}$$

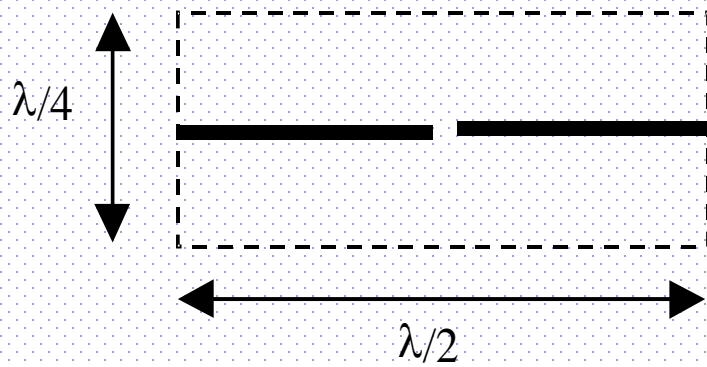
$$dV = E \cdot dy = E_0 \cdot dy \cdot \cos \frac{2\pi y}{\lambda}$$

$$V = \int dV = 2 \int_0^{\lambda/4} E_0 \cos \frac{2\pi y}{\lambda} dy = \frac{E_0 \lambda}{\pi}$$

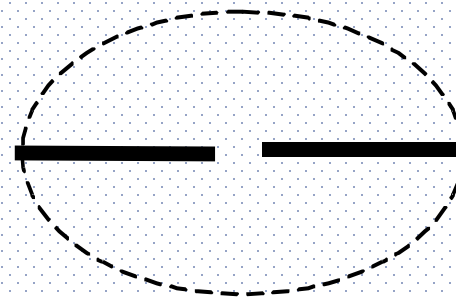
$$R_r = 73 \text{ ohm}$$



$$A_{em} = \frac{V^2}{4P \cdot R_r} = \frac{V^2}{4P \cdot R_T} = \mathbf{0,13\lambda^2}$$



atau



$$A_{em} \gg A_p$$

# Aperture dan directivity gain

# Hubungan aperture, direktivitas dan gain antenna

Direktivitas antenna sebanding dengan aperture

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{A_{em1}}{A_{em2}}$$

Dan hubungan gain dengan direktivitas,

$$\mathbf{G} = \eta_{\text{eff}} \cdot \mathbf{D} \quad \Rightarrow \quad \frac{G_1}{G_2} = \frac{D_1 \eta_{\text{eff}1}}{D_2 \eta_{\text{eff}2}} = \frac{\eta_{\text{eff}1} \times A_{em1}}{\eta_{\text{eff}2} \times A_{em2}} = \frac{A_{e1}}{A_{e2}}$$

$\eta_{\text{eff}} = \alpha$  = EFFECTIVENESS RATIO



# Hubungan aperture, direktivitas dan gain antenna

Pada antenna isotropis dengan  $D = 1$

$$Aem_{ISO} = \frac{Aem_2}{D_2} = \frac{Aem_x}{D_x}$$

Maka antenna lain dapat dihitung dengan,

$$D_x = \frac{4\pi}{\lambda^2} Aem_x$$

$$Aem_2 = \frac{3}{8\pi} \lambda^2 \quad \text{dan} \quad D_2 = 3/2 = 1,5$$

# Hubungan aperture, direktivitas dan gain antenna

Maka antenna lain dapat dihitung dengan,

$$D_x = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{em_x}$$

<b>Antena</b>	<b>Aem</b>	<b>D</b>	<b>D (dB)</b>
Isotropis	$\lambda^2 / (4\pi) = 0,79\lambda^2$	1	0
Dipole pendek	$3\lambda^2 / (8\pi) = 0,119\lambda^2$	1,5	1,76
Dipole $\lambda/2$	$30\lambda^2 / (73\pi) = 0,13\lambda^2$	1,64	2,14

# Terima kasih