

Antena dan Propagasi (TTH3G3)



Dosen :

Yussi Perdana Saputera, ST., MT.

Modul ke 3

IMPEDANSI ANTENA

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

2020

**“Kalau bukan anak bangsa ini
yang membangun bangsanya, siapa lagi?
Jangan saudara mengharapkan orang lain
yang datang membangun bangsa kita”
(BJ Habibie)**



Modul 3 *Impedansi Antena*

- A. Pendahuluan
- B. Impedansi Antena Linear Tipis
- C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena
- D. Pengaruh Tanah
- E. Impedansi Susunan n-Elemen Identik
- F. Transformasi Impedansi
- Lampiran Tabel

Impedansi Antena

Jika sebuah antena memiliki impedansi yang berbeda jauh dengan saluran transmisi dan atau dengan pemancarnya, maka antena tersebut tidak akan bekerja dengan maksimal. Berikut contoh kabel saluran transmisi.

Nilai impedansi antena harus dibuat sama dengan nilai impedansi saluran transmisi. Ketika nilai impedansi masukan sama dengan impedansi karakteristik, maka kondisi matching akan terpenuhi. Suatu keadaan disebut matching apabila gelombang yang ditransmisikan dari saluran transmisi ke antena dapat diteruskan seluruhnya dan tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali. Saluran transmisi biasanya memiliki nilai hambatan 50 Ω atau 75 Ω .

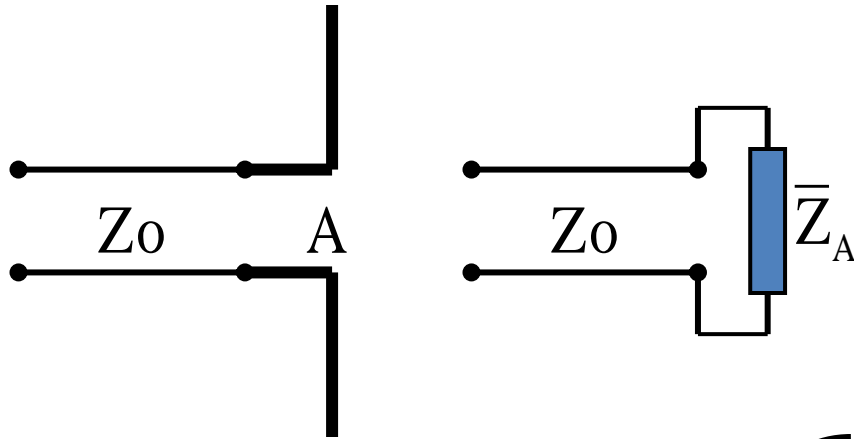
Impedansi Antena

Impedansi memang bersifat menghambat, akan tetapi ini membuat amplifier/receiver harus bekerja ekstra untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan. Sebaiknya, impedansi pada perangkat lebih baik berukuran kecil sehingga akan makin banyak daya yang dialirkan sehingga suara yang dihasilkan juga semakin bagus.

Akan tetapi, jika impedansi terlalu kecil, maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar (sesuai hukum Kirchhoff) dan hal ini akan dapat membuat perangkat audio menjadi rusak

Impedansi pada dasarnya adalah gabungan dari segala jenis hambatan pada sinyal langsung dari sebuah aliran listrik, seperti resistansi, reaktansi, kapasitansi dan seluruh factor mekanikal yang menimbulkan hambatan dari transfer energy dalam sebuah system. Impedansi adalah hambatan pada arus AC dan resistansi merupakan hambatan untuk arus DC. Lambang impedansi adalah Z sedangkan resistansi dilambangkan oleh R . Akan tetapi, satuan keduanya adalah OHM.

A. Pendahuluan



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

A. Pendahuluan

Metoda EMF Induksi

Kasus : Antena linear tipis **dipole** $\frac{1}{2}\lambda$
Distribusi arus **sinusoidal**

- V_{11} dipasang pada terminal menyebabkan arus I_z pada dz

$$Z_{1z} = \frac{V_{11}}{I_z}$$

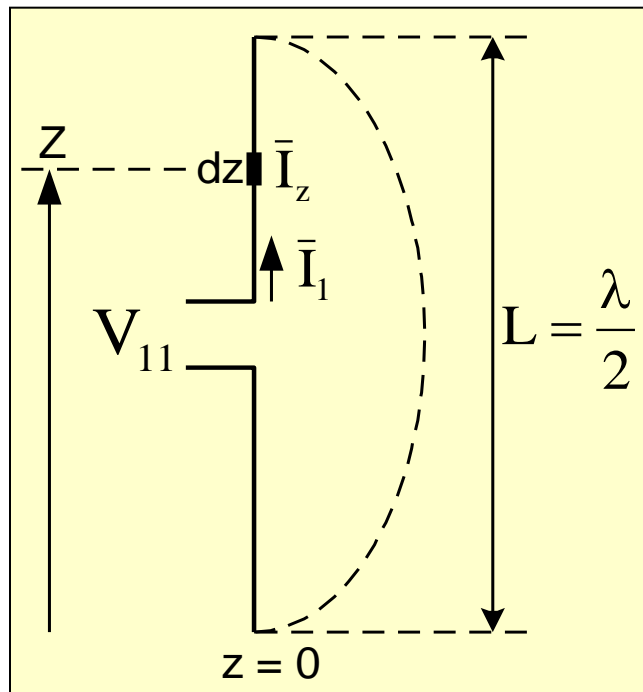
- Arus I_z menghasilkan E_z dan E_z menginduksikan E_{zi} kembali pada konduktor tersebut. Dari sinilah konsep **impedansi sendiri** bermula.

- Dipenuhi syarat batas bagi konduktor sempurna, dan medan total pada konduktor sempurna :

$$E_{zt} = E_z + E_{zi} = 0$$

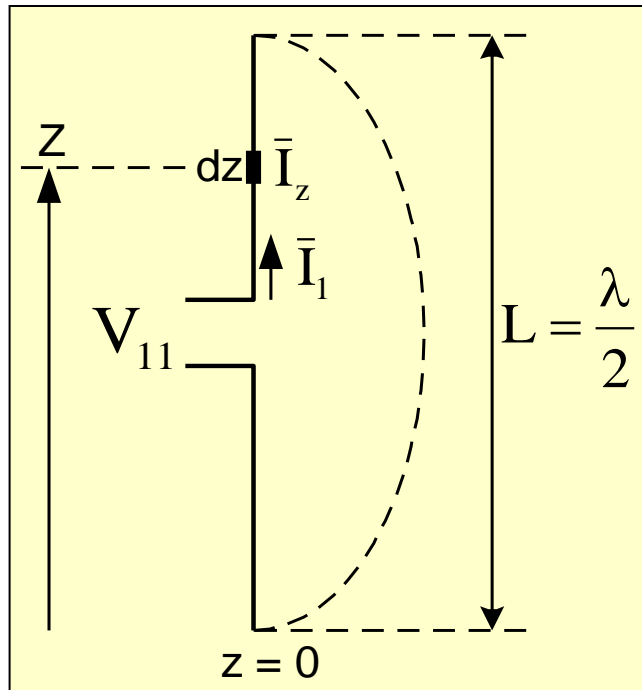
Sehingga,

$$E_{zi} = -E_z$$



$$\bar{I}_z = \bar{I}_1 \sin \beta z$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis



$$\bar{I}_z = \bar{I}_1 \sin \beta z$$

Hal ini berarti bahwa,

Impedansi yang dilihat dari sisi tegangan V_{11} sama dengan Impedansi yang dilihat dari sisi tegangan induksi

- Tegangan yang diinduksikan pada dz ,

$$dV_z = E_{zi} dz = -E_z dz$$

dV_z akan menyebabkan arus dI_1 pada terminal jika antena dihubungkan singkat, sehingga impedansi transfer :

$$Z_{z1} = \frac{dV_z}{dI_1}$$

- Berlaku juga **Hukum Resiprositas Carson**, sehingga kita dapat menuliskan :

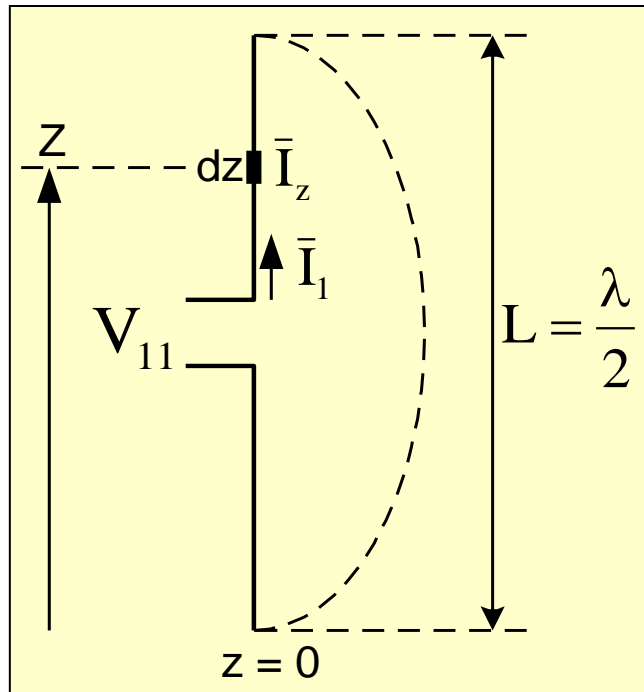
$$Z_{z1} = Z_{1z} \Rightarrow \frac{V_{11}}{I_z} = \frac{dV_z}{dI_1} = -\frac{E_z dz}{dI_1}$$

sehingga,

$$V_{11} dI_1 = -I_z E_z dz$$

..... Pers. (1)

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis



Mari sekarang kita definisikan yang dimaksud dengan *Impedansi Sendiri*.

- **Lihat gambar di samping !**, dan karena sifatnya yang **konstan** dan **tidak tergantung pada besarnya I_1** , maka impedansi sendiri dapat dinyatakan sbb :

$$Z_{11} = \frac{V_{11}}{I_1} = \frac{dV_{11}}{dI_1}$$

- Sehingga dapat dituliskan,

$$V_{11}dI_1 = I_1dV_{11}$$

..... Pers. (2)

Pers. (1) $V_{11}dI_1 = -I_z E_z dz$

Pers. (2) $V_{11}dI_1 = I_1dV_{11}$

$$dV_{11} = -\frac{I_z E_z}{I_1} dz \quad \Rightarrow \quad V_{11} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L I_z E_z dz$$

$$Z_{11} = \frac{V_{11}}{I_1} = -\frac{1}{I_1^2} \int_0^L I_z E_z dz$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

Impedansi sendiri,

$$Z_{11} = \frac{V_{11}}{I_1} = -\frac{1}{I_1^2} \int_0^L I_z E_z dz$$



- E_z adalah komponen medan listrik diarah z yang dihasilkan oleh arus antena sendiri (**medan sendiri**) selanjutnya dapat dinotasikan sebagai E_{11} ($E_z = E_{11}$)
- Arus I_z dapat dinotasikan ,
$$I_z = I_1 \sin \beta z$$

$$Z_{11} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L E_{11} \cdot \sin \beta z \cdot dz$$

E_{11} dapat dihitung dengan **Hukum Maxwell**,

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V - j\omega\vec{A}$$

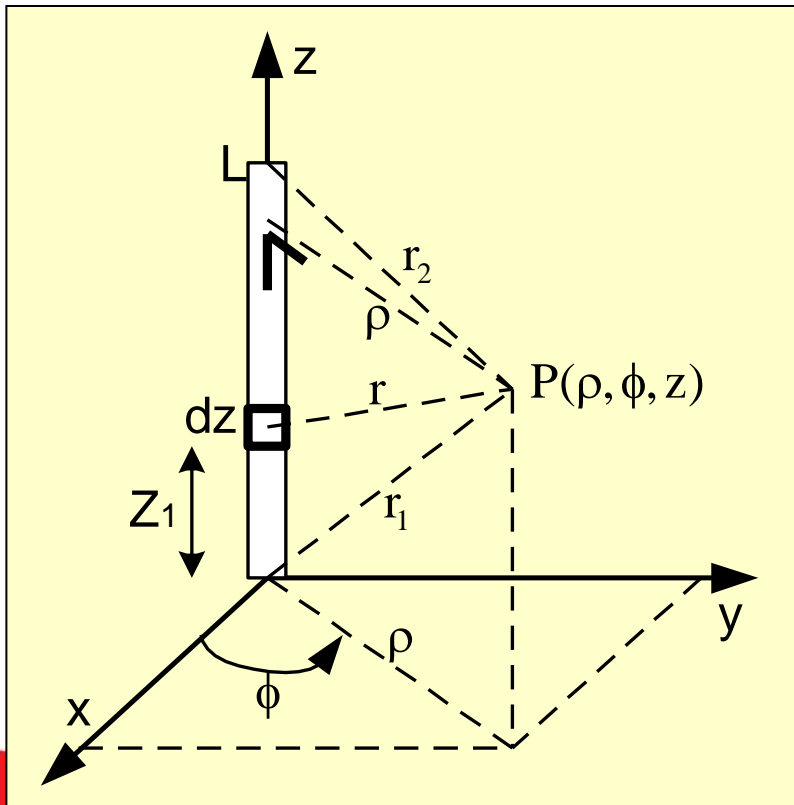
Jika E_{11} diketahui, maka Z_{11} dapat dihitung !!

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

Menghitung Medan Sendiri

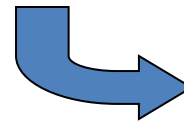
- Asumsi :**
- Medan listrik memiliki komponen kearah - z ,
 - L kelipatan dari $\frac{\lambda}{2} \Rightarrow L = n \frac{\lambda}{2} \Big|_{n \text{ integer}}$

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} - j\omega A_z$$



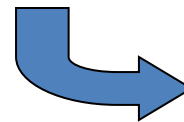
Terlebih dahulu dicari V dan A untuk menghitung E_z

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint \frac{\rho_v}{r} dv$$



$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^L \frac{\rho_L}{r} dz_1$$

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \iiint \frac{\vec{J}}{r} dv$$



$$A_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^L \frac{I_{z1}}{r} dz_1$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^L \frac{\rho_L}{r} dz_1$$

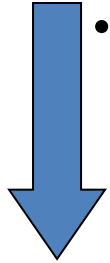
$$A_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^L \frac{I_{z1}}{r} dz_1$$

- Hukum kontinuitas, • Arus dan rapat arus,

$$\rho_L = -\int \frac{\partial I_{z1}}{\partial z_1} dz_1$$

$$I_{z1} = I_1 \sin \beta z_1 \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

$$\rho_L = \frac{j\beta I_1}{\omega} \cos \beta z_1 \cdot e^{j\omega(t-r/c)} \Big|_{\text{dgn } \frac{\beta}{\omega} = \frac{1}{c}}$$



$$V = j \frac{I_1 e^{j\omega t}}{4\pi\epsilon_0 c} \int_0^L \frac{\cos \beta z_1 \cdot e^{-j\beta r}}{r} dz_1$$

$$A_z = \frac{\mu_0 I_1 e^{j\omega t}}{4\pi} \int_0^L \frac{\sin \beta z_1 \cdot e^{-j\beta r}}{r} dz_1$$



- Identitas Euler,

$$\cos \beta z_1 = \frac{1}{2} (e^{j\beta z_1} + e^{-j\beta z_1}) \quad \text{dan}$$

$$\sin \beta z_1 = \frac{1}{2j} (e^{j\beta z_1} - e^{-j\beta z_1})$$

$$V = j \frac{I_1 e^{j\omega t}}{8\pi\epsilon_0 c} \int_0^L \frac{e^{-j\beta(z_1+r)} + e^{j\beta(z_1-r)}}{r} dz_1$$

$$A_z = j \frac{\mu_0 I_1 e^{j\omega t}}{8\pi} \int_0^L \frac{e^{-j\beta(z_1+r)} - e^{j\beta(z_1+r)}}{r} dz_1$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

$$V = j \frac{I_1 e^{j\omega t}}{8\pi\epsilon_0 c} \int_0^L \frac{e^{-j\beta(z_1+r)} + e^{j\beta(z_1-r)}}{r} dz_1$$

$$A_z = j \frac{\mu_0 I_1 e^{j\omega t}}{8\pi} \int_0^L \frac{e^{-j\beta(z_1+r)} - e^{j\beta(z_1-r)}}{r} dz_1$$

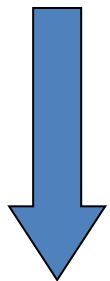


- Medan listrik dapat dihitung dari persamaan :

$$E_z = -\frac{\partial V}{\partial z} - j\omega A_z$$

$$E_z = -j \frac{I_1 e^{j\omega t}}{4\pi\epsilon_0 c} \left[\frac{e^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{e^{-j\beta r_2}}{r_2} \right]$$

Buktikan !!



- Dengan,

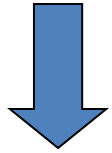
$$r = \sqrt{\rho^2 + (z - z_1)^2} ; r_1 = \sqrt{\rho^2 + z^2} ; r_2 = \sqrt{\rho^2 + (L - z)^2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0 c} \approx \frac{120\pi}{4\pi} = 30 \quad \text{dan} \quad |e^{j\omega t}| = 1$$

$$E_z = -j30 \cdot I_1 \left[\frac{e^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{e^{-j\beta r_2}}{r_2} \right]$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

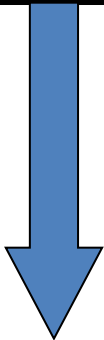
$$E_z = -j30.I_1 \left[\frac{e^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{e^{-j\beta r_2}}{r_2} \right]$$



- Pada konduktor antena, jarak antena dengan titik observasi dibuat **NOL** : $r_1 = z$ dan $r_2 = L - z$

$$E_{11} = E_z = -j30.I_1 \left[\frac{e^{-j\beta z}}{z} + \frac{e^{-j\beta(L-z)}}{(L-z)} \right]$$

Medan sendiri telah didapatkan !!

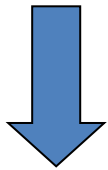


- Selanjutnya kembali pada persamaan yang telah kita turunkan sebelumnya, untuk dapat menghitung **Impedansi Sendiri !!**

$$Z_{11} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L E_{11} \cdot \sin \beta z \cdot dz$$

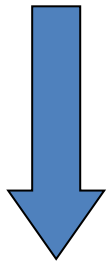
$$Z_{11} = j30 \int_0^L \left[\frac{e^{-j\beta z}}{z} + \frac{e^{-j\beta(L-z)}}{L-z} \right] \sin \beta z \cdot dz$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis



- Identitas Euler, $\sin \beta z = \frac{1}{2j} (e^{j\beta z} - e^{-j\beta z})$

$$Z_{11} = -15 \int_0^L \left[\frac{(e^{-j2\beta z} - 1)}{z} - \frac{e^{-j\beta L} (e^{j2\beta z} - 1)}{L - z} \right] dz$$



- Untuk,
 $L = n \frac{\lambda}{2} \Big|_{n=1,3,5,\dots \text{ganjil}}$ dan $e^{-j\beta L} = e^{-j\beta n} = -1$

$$Z_{11} = -15 \int_0^L \left[\frac{(e^{-j2\beta z} - 1)}{z} - \frac{(e^{j2\beta z} - 1)}{L - z} \right] dz$$

$$Z_{11} = 15 \int_0^L \left[\frac{(1 - e^{-j2\beta z})}{z} \right] dz + 15 \int_0^L \left[\frac{(1 - e^{j2\beta z})}{L - z} \right] dz$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

$$Z_{11} = \underbrace{15 \int_0^L \left[\frac{(1 - e^{-j2\beta z})}{z} \right] dz}_{\text{suku 1}} + \underbrace{15 \int_0^L \left[\frac{(1 - e^{j2\beta z})}{L - z} \right] dz}_{\text{suku 2}}$$

Penyelesaian suku 1

Misalkan,

$$u = 2\beta z \quad \Rightarrow \quad du = 2\beta dz$$

$$\text{Batas } z = L \quad \Rightarrow \quad u = 2\beta L = 2\pi n$$

$$\text{Batas } z = 0 \quad \Rightarrow \quad u = 0$$

$$\text{suku 1} = 15 \int_0^{2\pi n} \left[\frac{(1 - e^{-ju})}{u} \right] du$$

Penyelesaian suku 2

Misalkan,

$$v = 2\beta(L - z) \quad \Rightarrow \quad dv = -2\beta dz$$

$$\text{Batas } z = L \quad \Rightarrow \quad v = 0$$

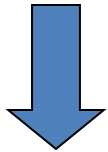
$$\text{Batas } z = 0 \quad \Rightarrow \quad v = 2\beta L = 2\pi n$$

$$\begin{aligned} \text{suku 2} &= -15 \int_0^{2\pi n} \left[\frac{(1 - e^{-j(2\pi n - v)})}{v} \right] dv \\ &= 15 \int_0^{2\pi n} \left[\frac{(1 - e^{-jv})}{v} \right] dv \end{aligned}$$

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

- Bentuk dan batas integral yang sama untuk penyelesaian kedua suku, sehingga impedansi sendiri dapat dituliskan sbb :

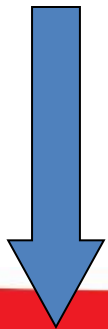
$$Z_{11} = 30 \int_0^{2\pi n} \frac{(1 - e^{-ju})}{u} du$$



- Misal,

$$\omega = ju \Rightarrow d\omega = j du \Rightarrow du = -j d\omega$$

$$Z_{11} = 30 \int_0^{2\pi n} \frac{(1 - e^{-\omega})}{\omega} d\omega = 30 \cdot \text{Ein}(j2\pi n)$$



- **Ein(jy)** adalah integral eksponensial
- $\text{Ein}(jy) = \text{Cin}(y) + j \text{Si}(y)$

Lihat definisi integral eksponensial pada Krauss hal 419 !!

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis



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

!!

Impedansi Sendiri = (Resistansi Sendiri) + **j** (Reaktansi Sendiri)
dimana,

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

dan,

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

Ingat asumsi semula....

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

Catatan :

Nilai-nilai $\operatorname{Cin}(x)$, $\operatorname{Si}(x)$ dapat dilihat pada **tabel** ataupun dilihat pada **grafik** !

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

Contoh :

- Untuk **dipole $1/2\lambda$** **↓** $n = 1$

$$R_{11} = 30 \text{ Cin } (2\pi) = 73 \text{ ohm}$$

$$X_{11} = 30 \text{ Si } (2\pi) = 42,5 \text{ ohm}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_{11} = 30 \text{ Cin } (2\pi) = 73 \text{ ohm} \\ X_{11} = 30 \text{ Si } (2\pi) = 42,5 \text{ ohm} \end{array} \right\} \underline{\underline{Z_{11} = (73 + j 42,5) \text{ ohm}}}$$

Terlihat bahwa dipole $1/2\lambda$ memiliki sifat tidak resonan (reaktansi $\neq 0$), sehingga untuk membuatnya resonan harus dipotong (1-5)%. Tindakan ini akan membuatnya resonan, tetapi resistansi sendiri dengan sendirinya juga akan berkurang dari 73 ohm

- Untuk **dipole $3/2 \lambda$** **↓** $n = 3$

$$R_{11} = 30 \text{ Cin } (6\pi) = 105,5 \text{ ohm}$$

$$X_{11} = 30 \text{ Si } (6\pi) = 45,5 \text{ ohm}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_{11} = 30 \text{ Cin } (6\pi) = 105,5 \text{ ohm} \\ X_{11} = 30 \text{ Si } (6\pi) = 45,5 \text{ ohm} \end{array} \right\} \underline{\underline{Z_{11} = (105,5 + j 45,5) \text{ ohm}}}$$

Catatan :

- Reaktansi ($n_{\text{ganjil}} \times 1/2\lambda$) selalu positif
- Untuk $n \gg$, maka $\text{Si}(2\pi n)$ menuju harga $\pi/2$, sedangkan R_{11} akan naik

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

Impedansi Sendiri Dipole Dengan Panjang Sembarang

(dari Proc. IRE no. 32 April 1934)



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

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

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



B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

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

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

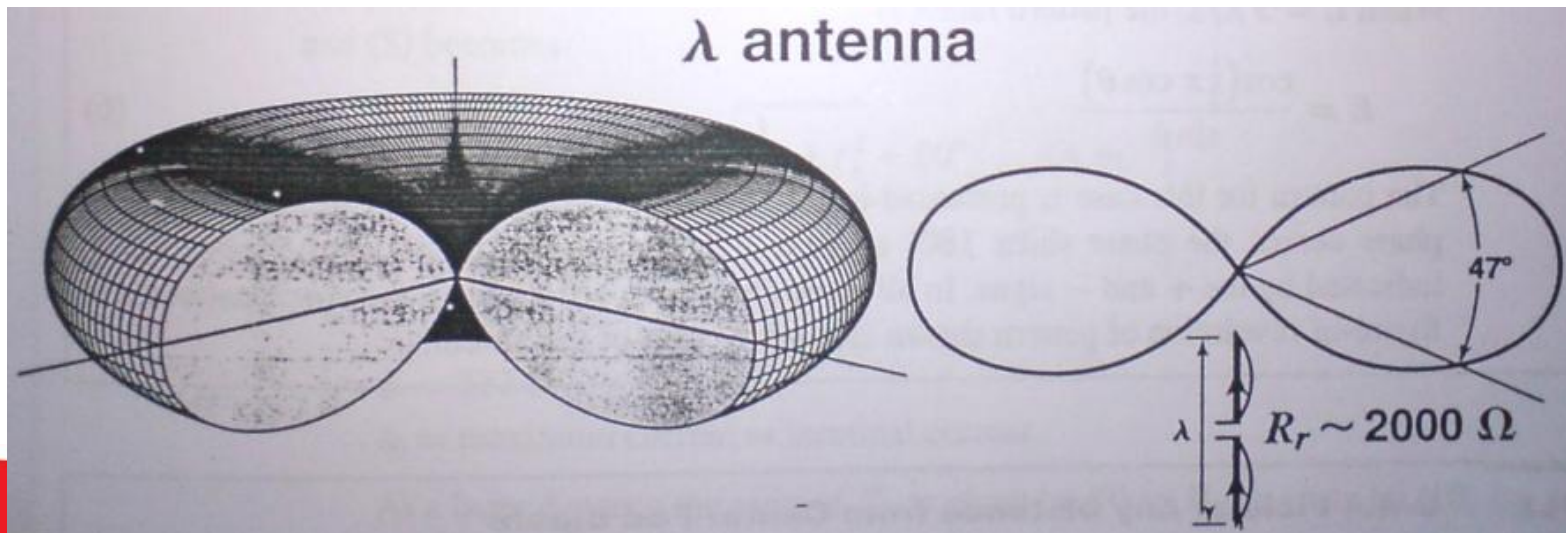
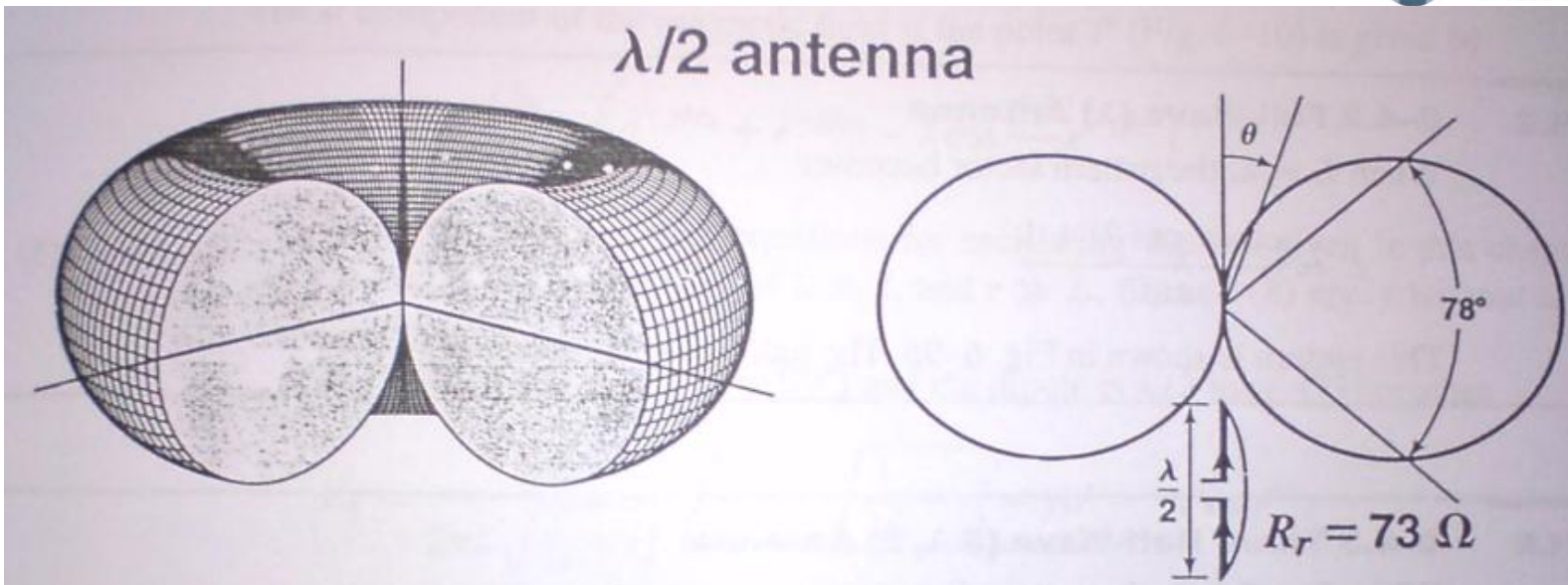
Struktur di atas disebut sebagai **MONOPOLE !**

Contoh :

$$Z_{[\lambda/4]} = \frac{1}{2} \times Z_{[\lambda/2]} = (36,5 + j22,8) \text{ ohm}$$

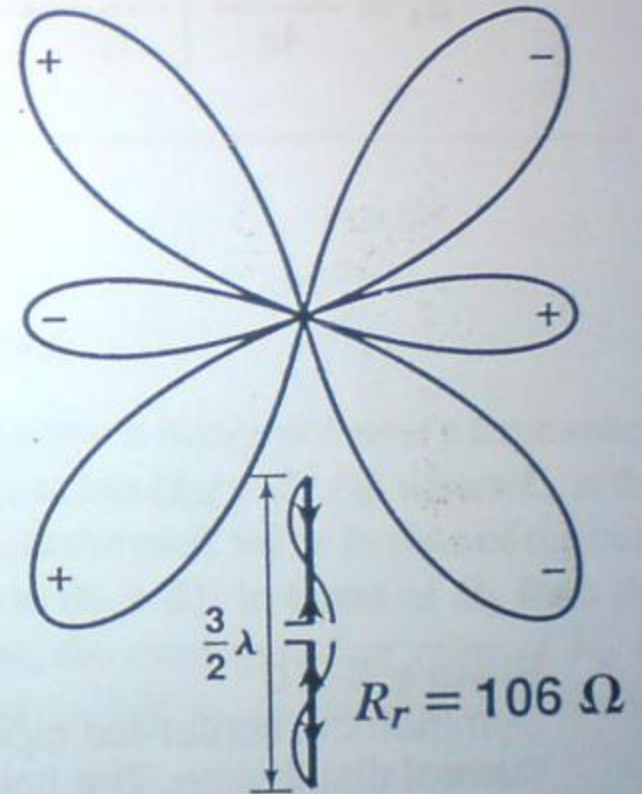
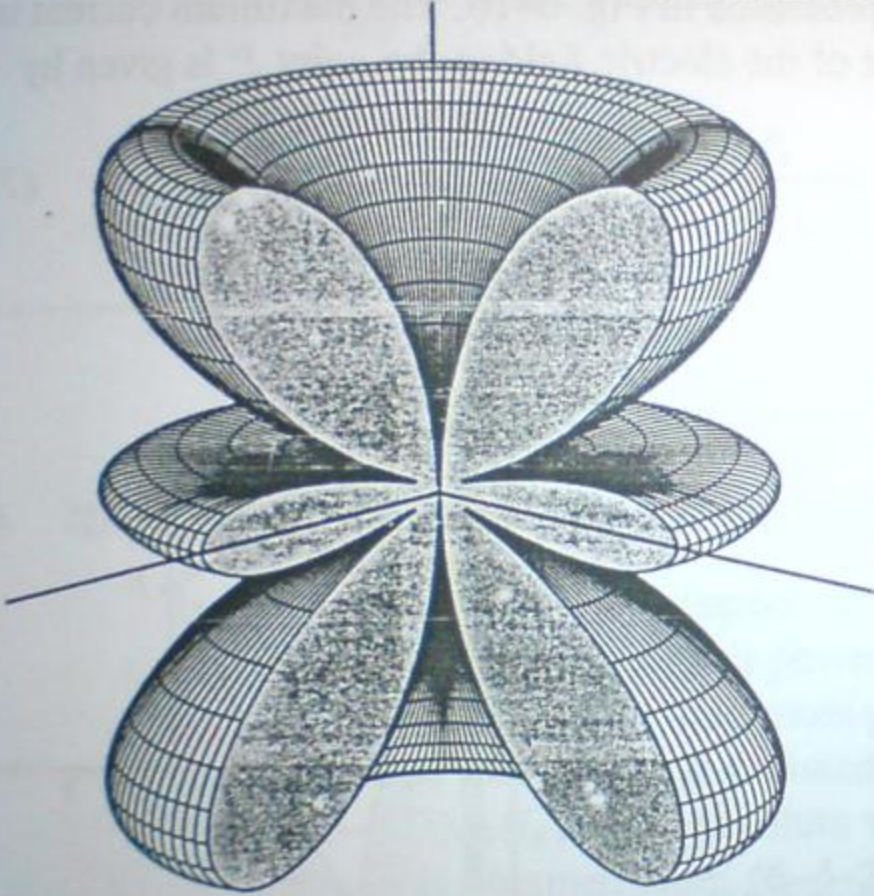
monopole $\lambda/4$ di atas groundplane

B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis



B. Impedansi Sendiri Antena Linear Tipis

$3 \lambda/2$ antenna



C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

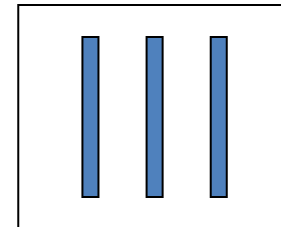
Impedansi gandeng / mutual terjadi jika terdapat 'benda-benda' (terutama konduktor) lain disekitar antena catu.

Tergantung kepada,

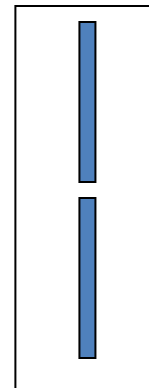
- **Posisi relatif** antara benda tersebut dengan antena tercatu

3 macam posisi relatif,

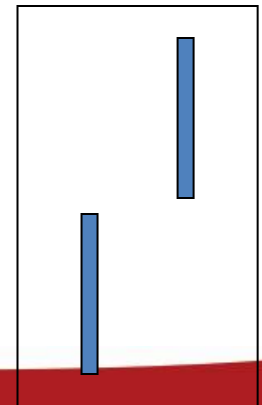
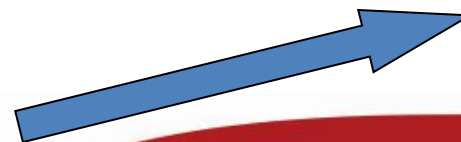
- **Side by side**



- **Kolinier**

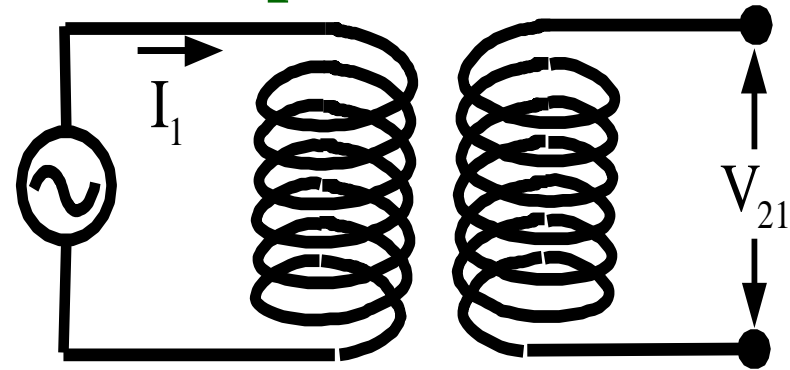


- **Staggered**



C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Konsep Dasar...

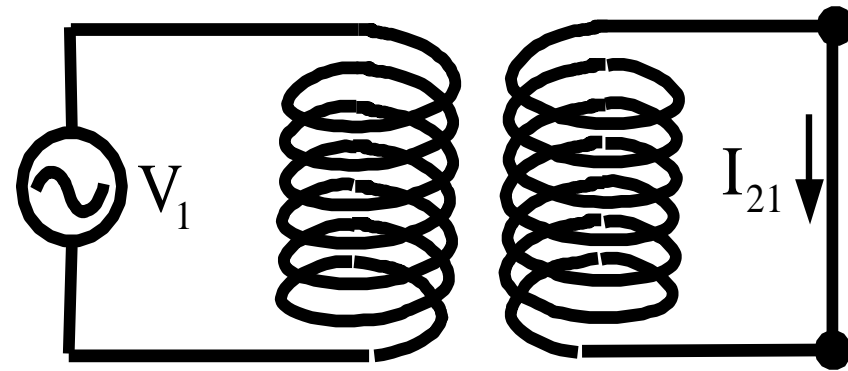


Impedansi gandeng suatu pasangan rangkaian di atas didefinisikan sebagai,

Negatif perbandingan emf induksi pada rangkaian sekunder terhadap arus primer, jika sekunder open circuit,

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1}$$

Bedakan... dengan konsep impedansi transfer di bawah ini...



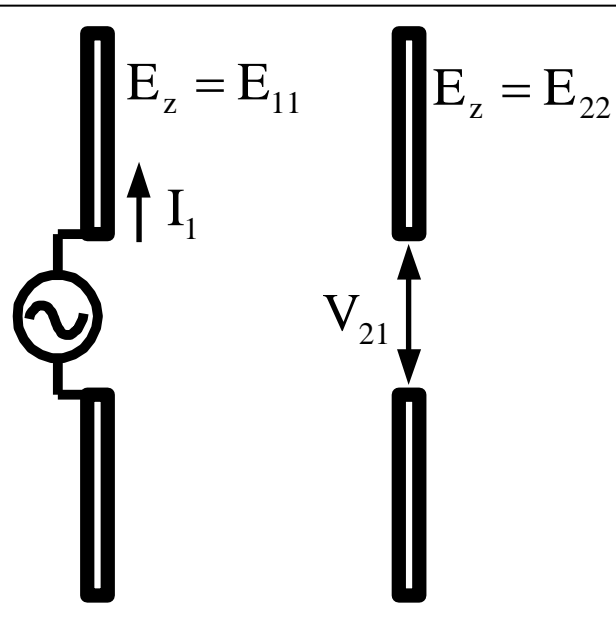
Pada impedansi transfer,

$$Z_{T21} = -\frac{V_1}{I_{21}}$$

dimana,

$$Z_{T21} \neq Z_{21}$$

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena



Impedansi gandeng 2 antena identik paralel,

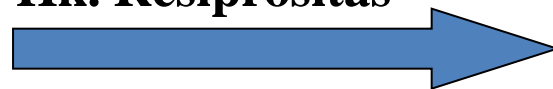
Negatif perbandingan tegangan induktif pada antena ekunder yang dibuka ($Z_T = \infty$) terhadap arus primer yang menyebabkannya

Pada gambar di samping, arus primer I_1 menginduksikan V_{21} pada antena-2 yang tidak dibebani

Impedansi gandeng dari pasangan antena di atas,

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1}$$

Hk. Resiprositas



$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1} = -\frac{V_{12}}{I_2} = Z_{12}$$

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Ingat konsep tegangan sendiri,

$$V_{11} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L I_z E_z dz$$

V_{11} adalah tegangan yang diinduksikan oleh medan sendiri (medan yang dihasilkan oleh arus-nya sendiri)

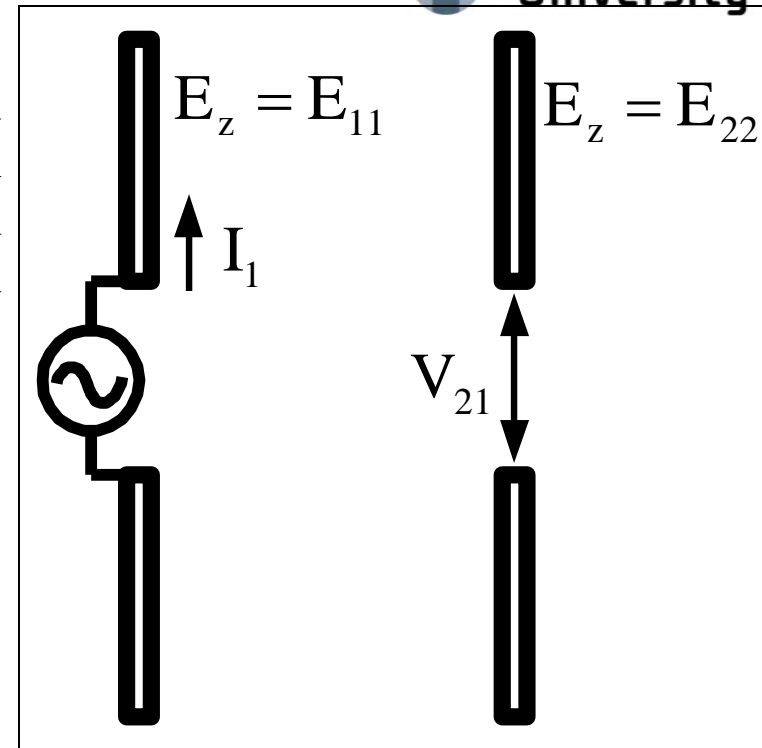
Pertanyaan ,

Bagaimana dengan V_{21} (tegangan pada antena-2 yang disebabkan arus pada antena-1) ?

Set kondisi :

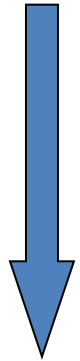
$E_z = E_{21}$, $V_{11} = -V_{21}$, dan $I_1 = I_2$

$$V_{21} = \frac{1}{I_2} \int_0^L I_z E_{21} dz$$



C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

$$V_{21} = \frac{1}{I_2} \int_0^L I_z E_{21} dz$$



Asumsi distribusi arus sinusoidal,

$$I_z = I_2 \sin \beta z dz$$

$$V_{21} = \int_0^L E_{21} \sin \beta z dz$$

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L E_{21} \sin \beta z dz$$

Ini adalah rumus umum impedansi gandeng antara 2 antena linear tipis dengan distribusi arus sinusoidal !!

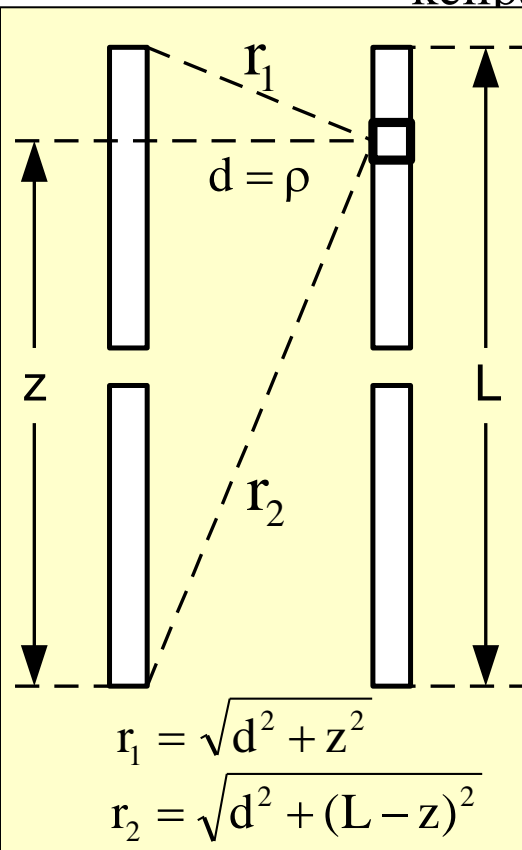
**Sudah Pusing?..., kalau belum,
Mari kita lanjutkan.....**



C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Side by Side...

Asumsi : • Panjang antena-1 sama dengan panjang antena-2 , dan merupakan kelipatan ganjil $\frac{1}{2}\lambda$ ($L = n \frac{1}{2}\lambda$; n ganjil)



- E_{21} pada antena-2 yang dihasilkan oleh arus I_1 pada antena-1 adalah :

$$E_{21} = -jI_1 \left[\frac{e^{-j\beta r_1}}{r_1} + \frac{e^{+j\beta r_2}}{r_2} \right]$$

masukkan pada persamaan,

$$Z_{21} = -\frac{V_{21}}{I_1} = -\frac{1}{I_1} \int_0^L E_{21} \sin \beta z \, dz$$

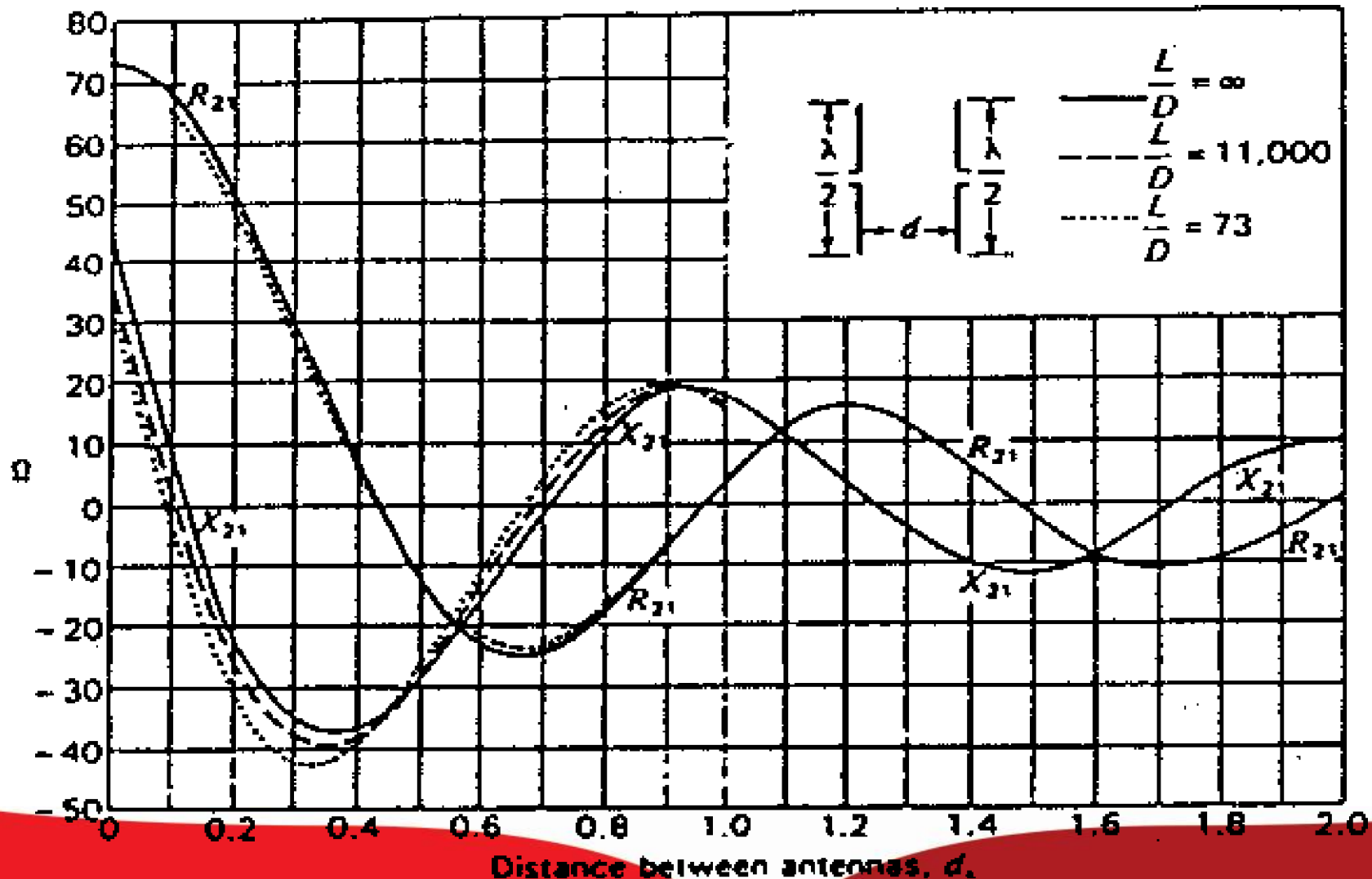
Lihat di Krauss untuk penurunan lengkapnya...

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

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

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Grafik resistansi dan reaktansi gandeng elemen dipole $\lambda/2$ yang disusun side by side



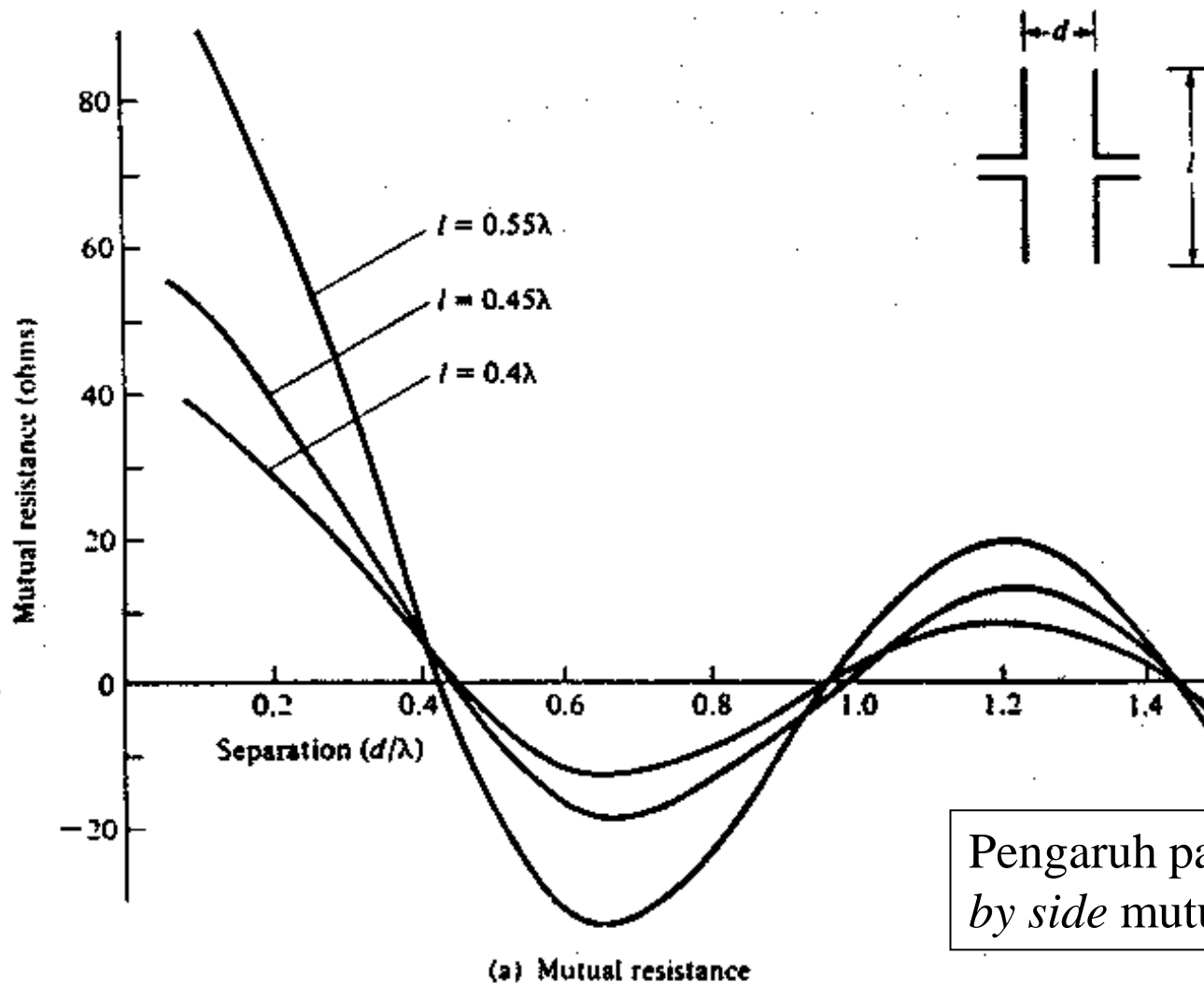
C. Impedansi Gandeng Ant

Tabel resistansi gandeng
elemen dipole $\lambda/2$ yang
disusun side by side

Table 13-1 Mutual resistance versus spacing for thin center-fed side-by-side $\lambda/2$ antennas, ($\beta L = 180^\circ$), with sinusoidal current distribution

Spacing d, λ	Mutual resistance R_{21}, Ω	Self minus mutual resistance $(R_{11} - R_{21}), \Omega$
0.00	73.13	0.00
0.01	73.07	0.06
0.05	71.65	1.48
0.10	67.5	5.63
0.125	64.4	8.7
0.15	60.6	12.5
0.20	51.6	21.5
0.25	40.9	32.2
0.3	29.4	43.7
0.4	+6.3	66.8
0.5	-12.7	85.8
0.6	-23.4	96.5
0.7	-24.8	97.9
0.8	-18.6	91.7
0.9	-7.2	80.3
1.0	+3.6	69.3
1.1	+12.1	61.0
1.2	+15.8	57.3
1.3	+12.4	60.7
1.4	+5.8	67.3
1.5	-2.4	75.5
1.6	-8.3	81.4
1.7	-10.7	83.8
1.8	-9.4	82.5
1.9	-4.8	77.9
2.0	+1.1	72.0

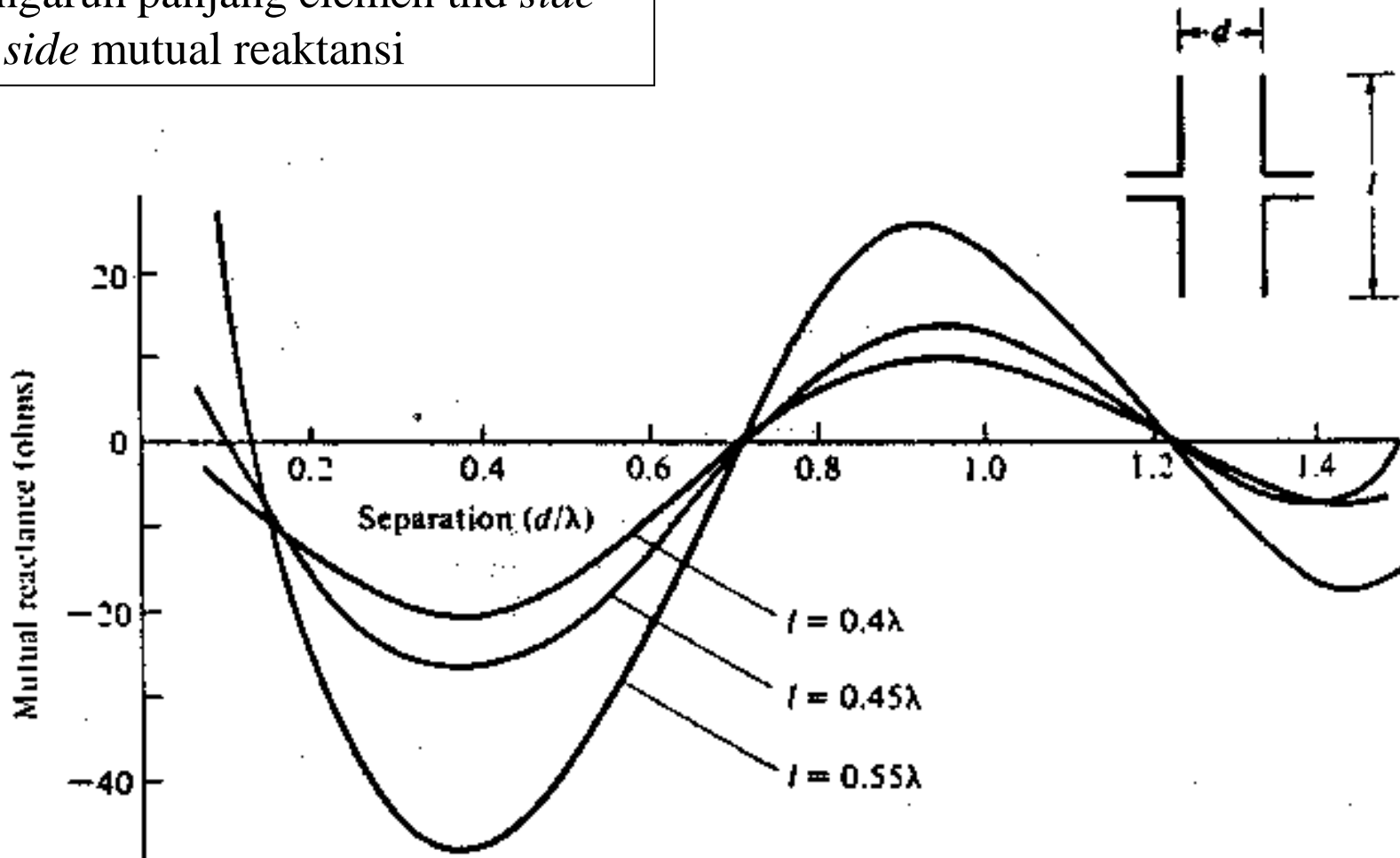
C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena



Pengaruh panjang elemen thd *side by side* mutual resistansi

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Pengaruh panjang elemen thd *side by side* mutual reaktansi



(b) Mutual Reactance

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Colinear...

Dengan cara yang sama, dapat diturunkan impedansi gandeng antara 2 antena yang disusun kolinier dan hasilnya adalah sbb :

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

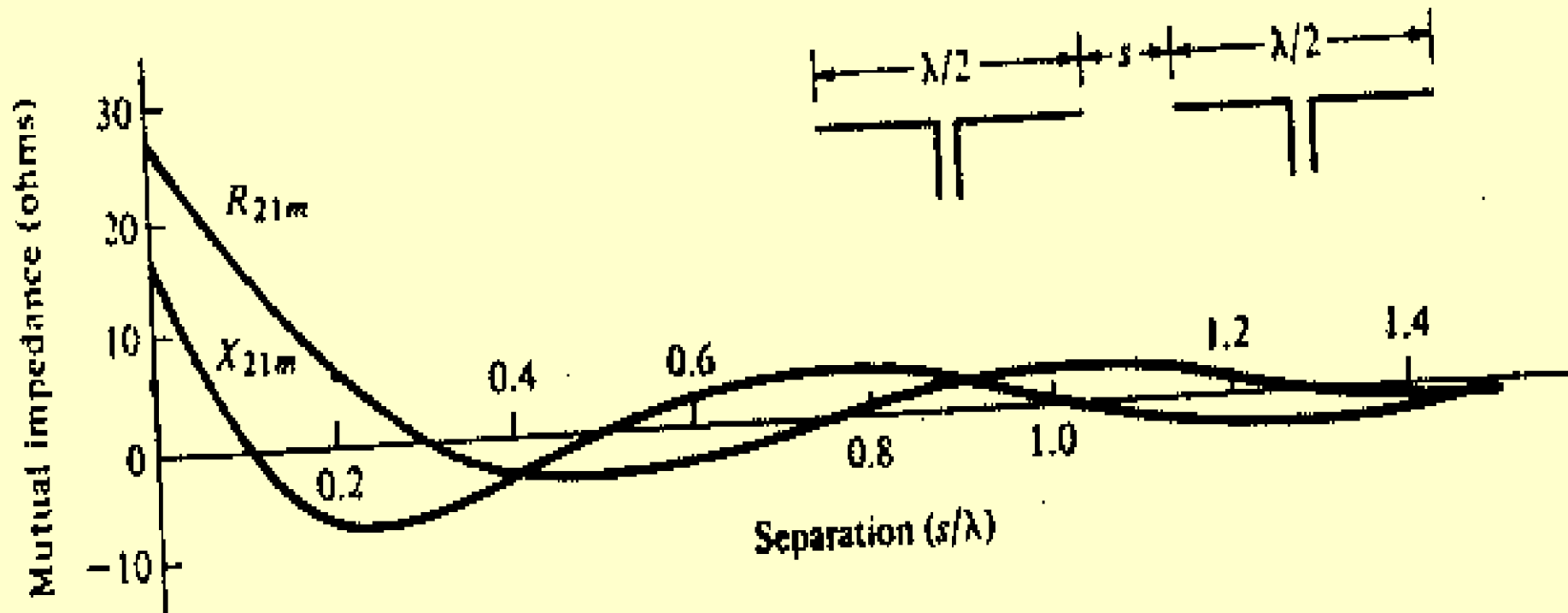
$$X_{21} = -15 \cos \beta h \left[2 \operatorname{Si} 2\beta h - \operatorname{Si} 2\beta(h-L) - \operatorname{Si} 2\beta(h+L) \right] \\ + 15 \sin \beta h \left[2 \operatorname{Ci} 2\beta h - \operatorname{Ci} 2\beta(h-L) - \operatorname{Ci} 2\beta(h+L) - \ln \left(\frac{h^2 - L^2}{h^2} \right) \right]$$

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

Hasil grafik untuk elemen dipole $\lambda/2$ dapat dilihat pada halaman berikut !!

C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

Colinear...

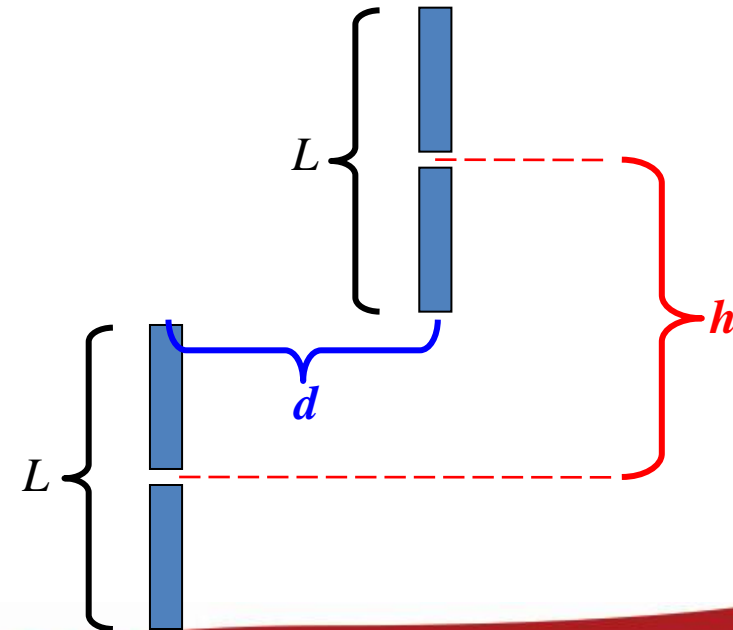


C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena Staggered / Echelon...

$$R_{21} = -15 \cos \beta h (-2 \text{Ci } A - 2 \text{Ci } A' + \text{Ci } B + \text{Ci } B' + \text{Ci } C + \text{Ci } C') \\ + 15 \sin \beta h (2 \text{Si } A - 2 \text{Si } A' - \text{Si } B + \text{Si } B' - \text{Si } C + \text{Si } C')$$

$$X_{21} = -15 \cos \beta h (2 \text{Si } A + 2 \text{Si } A' - \text{Si } B - \text{Si } B' - \text{Si } C - \text{Si } C') \\ + 15 \sin \beta h (2 \text{Ci } A - 2 \text{Ci } A' - \text{Ci } B + \text{Ci } B' - \text{Ci } C + \text{Ci } C')$$

$$A = \beta (\sqrt{d^2 + h^2} + h) \\ A' = \beta (\sqrt{d'^2 + h^2} - h) \\ B = \beta [\sqrt{d^2 + (h - L)^2} + (h - L)] \\ B' = \beta [\sqrt{d^2 + (h - L)^2} - (h - L)] \\ C = \beta [\sqrt{d^2 + (h + L)^2} + (h + L)] \\ C' = \beta [\sqrt{d^2 + (h + L)^2} - (h + L)]$$



C. Impedansi Gandeng Antar 2 Antena

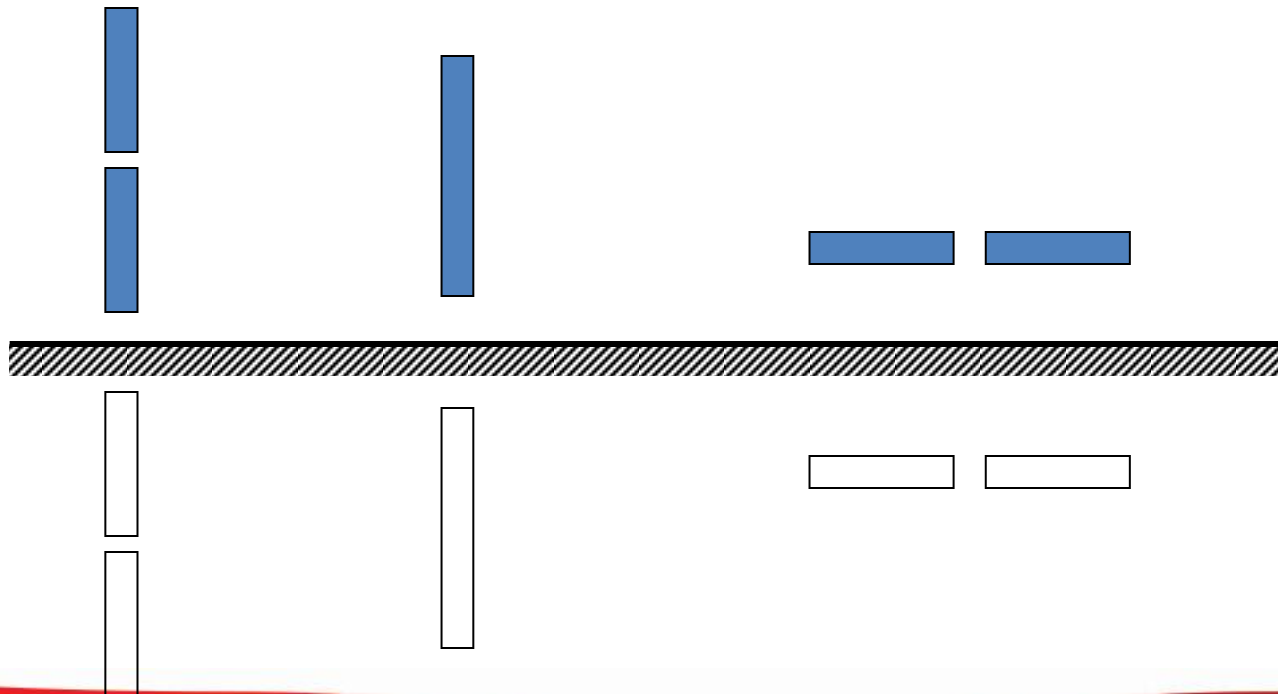
Staggered / Echelon...

Table 10-2 Mutual resistance as a function of d and h (Fig. 10-15) for thin $\lambda/2$ antennas in echelon

Spacing d	Spacing h						
	0.0λ	0.5λ	1.0λ	1.5λ	2.0λ	2.5λ	3.0λ
0.0λ	+73.1	+26.4	-4.1	+1.8	-1.0	+0.6	-0.4
0.5λ	-12.7	-11.8	-0.8	+0.8	-1.0	+0.5	-0.3
1.0λ	+3.8	+8.8	+3.6	-2.9	+1.1	-0.4	+0.1
1.5λ	-2.4	-5.8	-6.3	+2.0	+0.6	-1.0	+0.9
2.0λ	+1.1	+3.8	+6.1	+0.2	-2.6	+1.6	-0.5
2.5λ	-0.8	-2.8	-5.7	-2.4	+2.7	-0.3	-0.1
3.0λ	+0.4	+1.9	+4.5	+3.2	-2.1	-1.6	+1.7
3.5λ	-0.3	-1.5	-3.9	-3.8	+0.7	+2.7	-1.0
4.0λ	+0.2	+1.1	+3.1	+3.7	+0.5	-2.5	-0.1
4.5λ	-0.2	-0.9	-2.5	-3.4	-1.3	+2.0	+1.1
5.0λ	+0.2	+0.7	+2.1	+3.1	+1.8	-1.4	-1.9
5.5λ	-0.1	-0.6	-1.8	-2.9	-2.2	+0.5	+1.8
6.0λ	+0.1	+0.5	+1.6	+2.6	+2.3	-0.1	-2.0
6.5λ	-0.1	-0.5	-1.2	-2.3	-2.3	-0.5	+1.7
7.0λ	+0.1	+0.4	+1.1	+2.1	+2.3	+0.9	-1.3
7.5λ	0.0	-0.3	-1.0	-1.9	-2.1	-1.0	+0.7

D. Pengaruh Tanah

Umumnya tanah akan dianggap sebagai konduktor sempurna ($\sigma \approx \infty$) dengan luas juga ∞ , sehingga antenna diatas tanah dapat dianggap sebagai susunan 2 antenna, yaitu yang sesungguhnya dengan bayangannya



E. Impedansi Susunan n-Element Identik

- Hubungan-hubungan yang mendasari :

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} + I_3 Z_{13} + \dots + I_n Z_{1n}$$

$$V_2 = I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22} + I_3 Z_{23} + \dots + I_n Z_{2n}$$

$$V_3 = I_1 Z_{31} + I_2 Z_{32} + I_3 Z_{33} + \dots + I_n Z_{3n}$$

$$V_n = I_1 Z_{n1} + I_2 Z_{n2} + I_3 Z_{n3} + \dots + I_n Z_{nn}$$

dengan : V_n = tegangan terminasi elemen ke-n

I_n = arus terminasi elemen ke-n

Z_{nn} = self-impedance elemen ke-n

Z_{ij} = impedansi gandeng antara elemen ke-i dan ke-j

- Dapat dinyatakan dalam bentuk matriks :

$$[V_n] = [Z_{nn}][I_n]$$

E. Impedansi Susunan n-Element Identik

- Impedansi terminasi/titik catu/driving point masing-masing elemen :

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + \frac{I_2}{I_1} Z_{12} + \frac{I_3}{I_1} Z_{13} + \dots + \frac{I_n}{I_1} Z_{1n}$$
$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2} = Z_{22} + \frac{I_1}{I_2} Z_{21} + \frac{I_3}{I_2} Z_{23} + \dots + \frac{I_n}{I_2} Z_{2n}$$

dst

Jika arus-arus pada semua elemen, self impedances diketahui, maka impedansi pada terminasi akan dapat dihitung !

F. Transformasi Impedansi

Umumnya, impedansi antena berbeda dengan impedansi karakteristik saluran. Hal ini karena sulit mengkompromikan antara impedansi antena dengan diagram pancar yang dibutuhkan. Impedansi karakteristik saluran transmisi umumnya :

300 Ω atau 600 Ω **balans** (two wire cable), **atau**

50 Ω (RG8/U, RG58/U)

60 Ω (RG11/U, RG59/U)

75 Ω (GR-874)

} **unbalans** (kabel koax)

Dasar-dasar transformasi sudah diberikan pada matakuliah Saluran Transmisi.

Penyesuaian Inmpedansi bertujuan :

Agar terjadi transfer daya maksimum dari saluran transmisi ke antena atau mencegah kerusakan pemancar karena daya pantulan dari antena.

F. Transformasi Impedansi

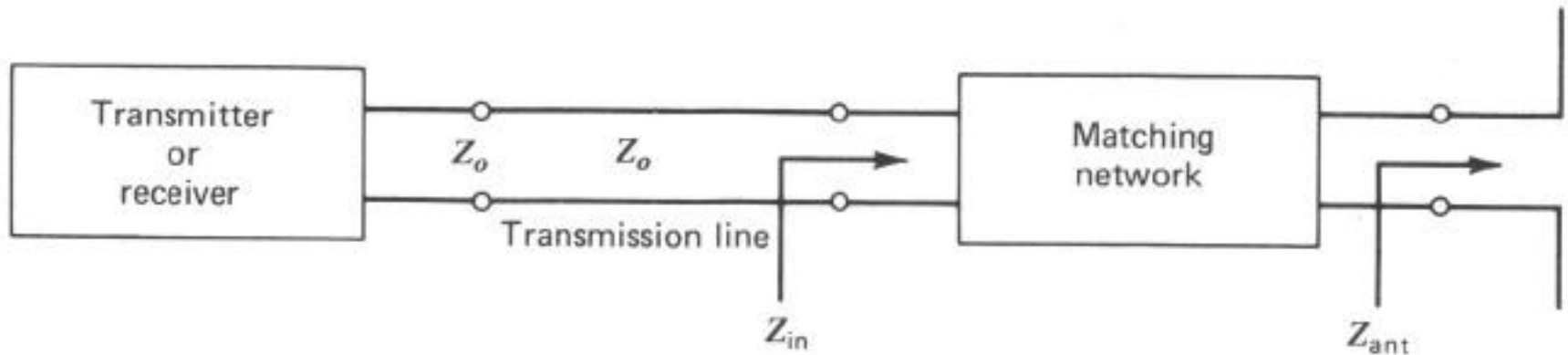
Pada antena, jarang dipakai rangkaian terpadu (lumped circuit) melainkan adalah berupa potongan saltran (stub) sehingga secara mekanis dapat diandalkan di udara terbuka dan bisa untuk frekuensi yang cukup tinggi > 10 MHz.

Untuk frekuensi di bawah HF, sering dipakai transformator dengan inti ferrite dan kondensator untuk tuning-nya. Biasanya ditempatkan pada antena dan di-cor supaya tahan terhadap cuaca.

Dalam matching impedansi, impedansi antena dibawa sedekat mungkin ke impedansi karakteristik saluran. Sedemikian, SWR pada saluran di bawah harga tertentu, misalkan : 1.5 , 2 , 1.35 , 1.1 , dll (tergantung dari spesifikasi transmitter)

Lihat kembali prinsip matching impedansi dari kuliah Saluran Transmisi dan Elektromagnetika Telekomunikasi !!

F. Transformasi Impedansi (Matching Impedan)



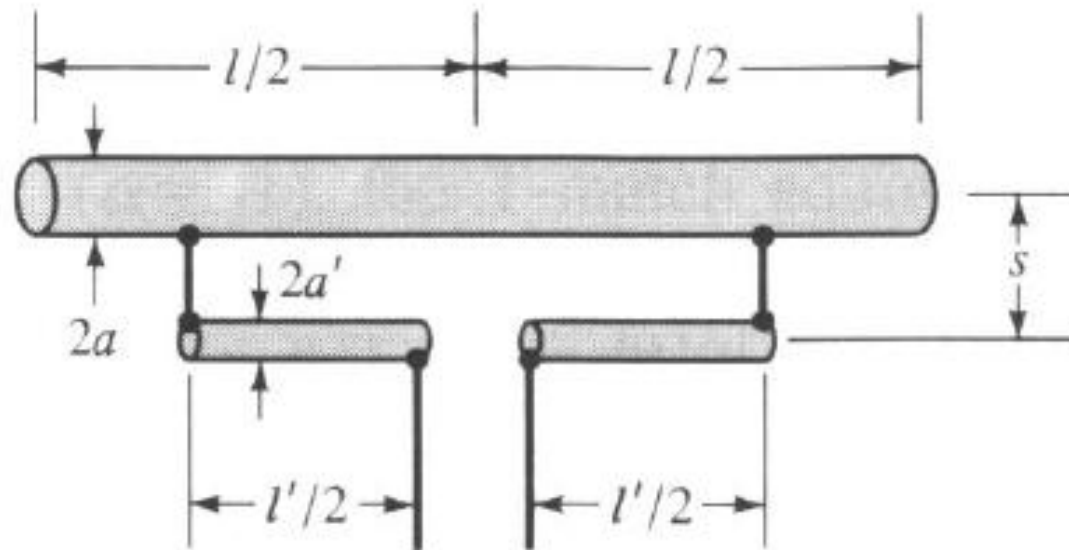
Two primary feeding considerations:

- Matching between transmission line and antenna
- Excitation of the current distribution on the antenna

Ways of matching:

- Discrete matching network (Inductor & Capacitor)
- $\lambda/4$ -line transformer
- Tuning devices like stubs etc.

F. Transformasi Impedansi (Matching Impedan)



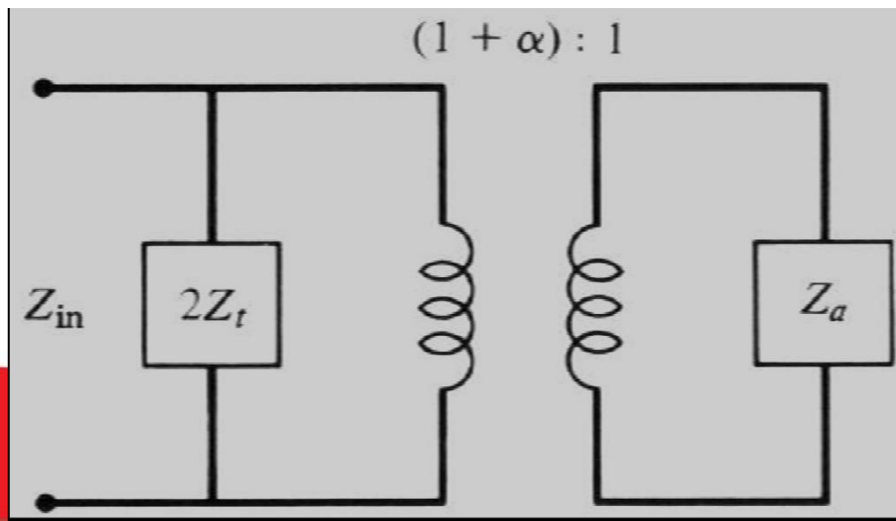
The T-Match

Untuk $l' \approx \lambda/2$

$$Z_{in} \approx (1 + \alpha)^2 \cdot Z_a$$

α = current division factor
between the wires
for equal radii conductors

$$Z_{in} \approx 4 \cdot Z_a$$

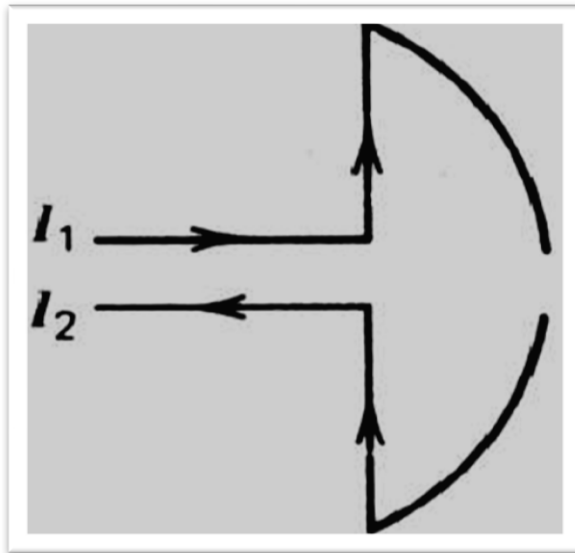


F. Transformasi Impedansi

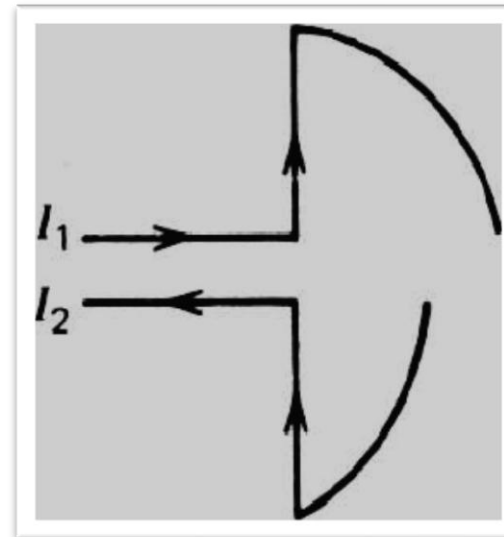
Balun ...

Selain transformasi impedansi, sering juga diperlukan transformasi dari balans ke tidak-balans, atau sebaliknya.

Alat transformator seperti ini disebut **BALUN (*Balancing-Unbalancing Unit*)**



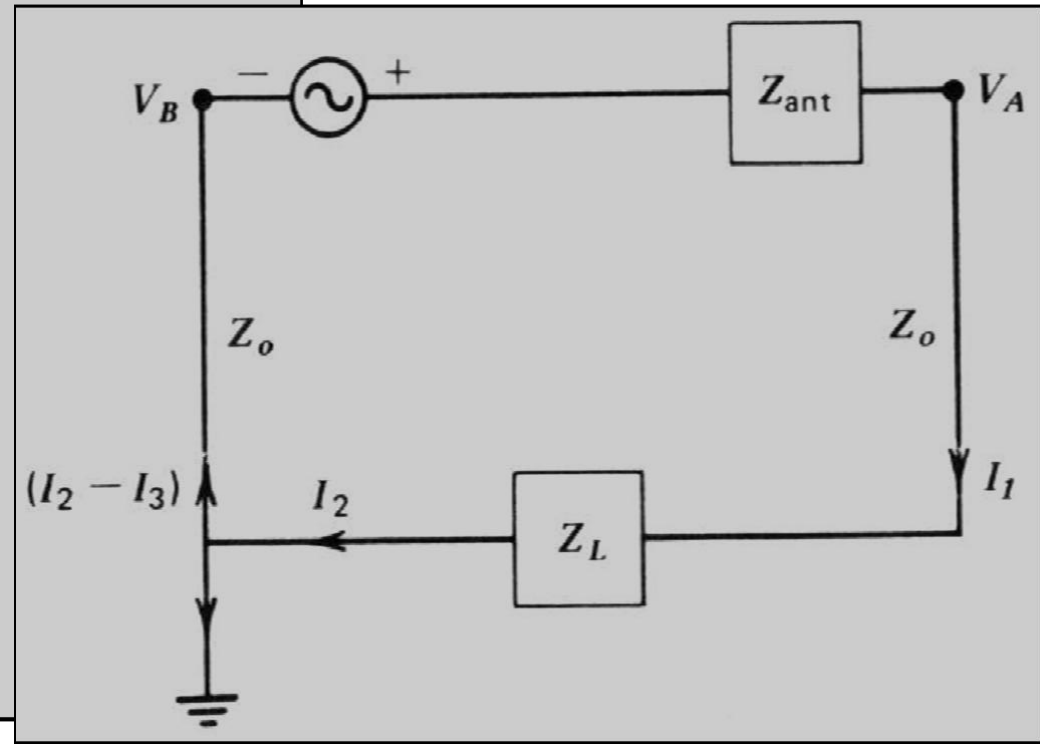
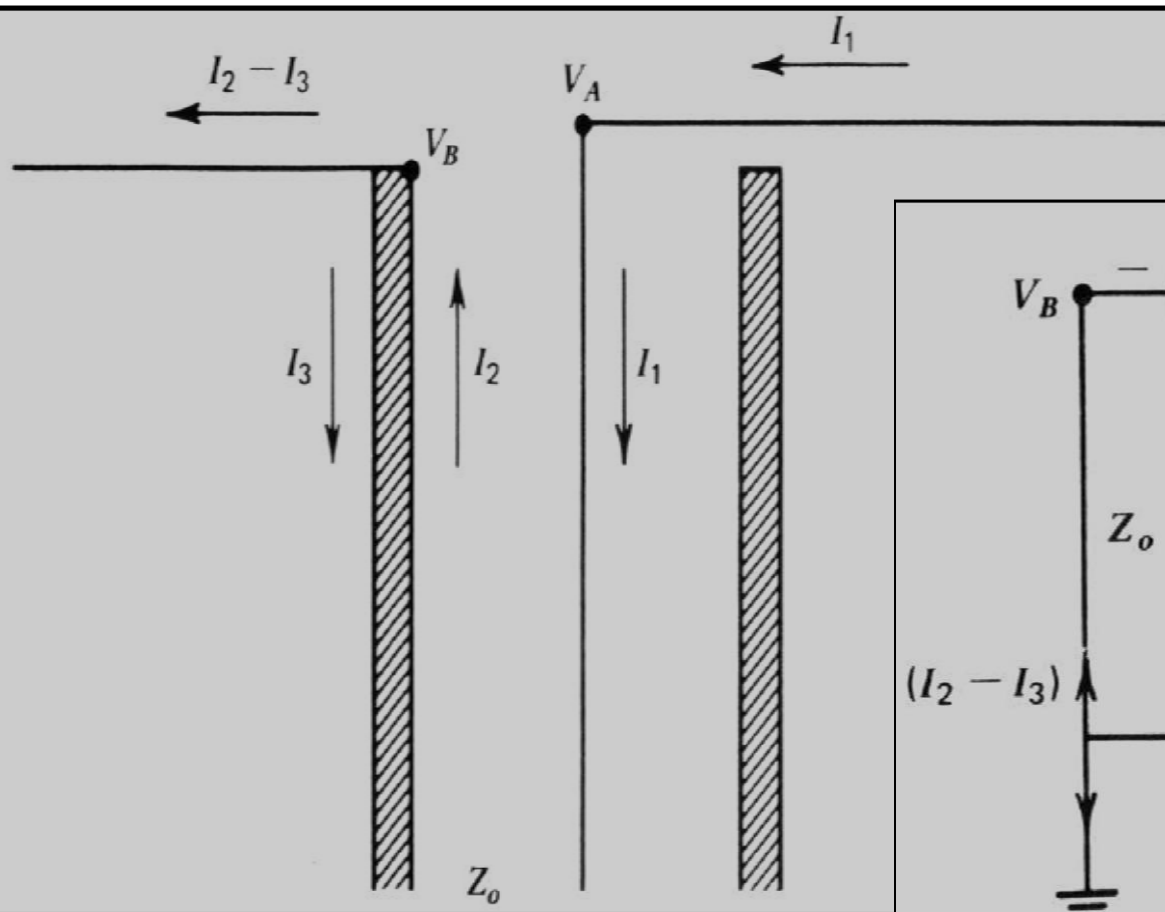
Arus balanced $I_1 = I_2$



Arus unbalanced $I_1 > I_2$

Source: W.L. Stutzman, G.A. Thiele: Antenna Theory and Design, Wiley, New York, 1981

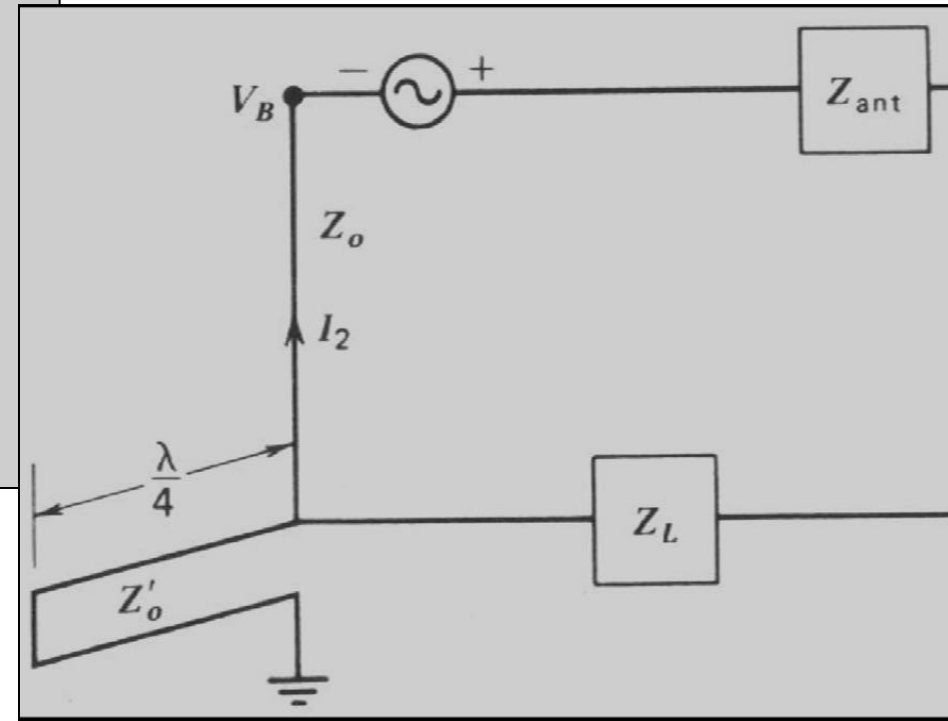
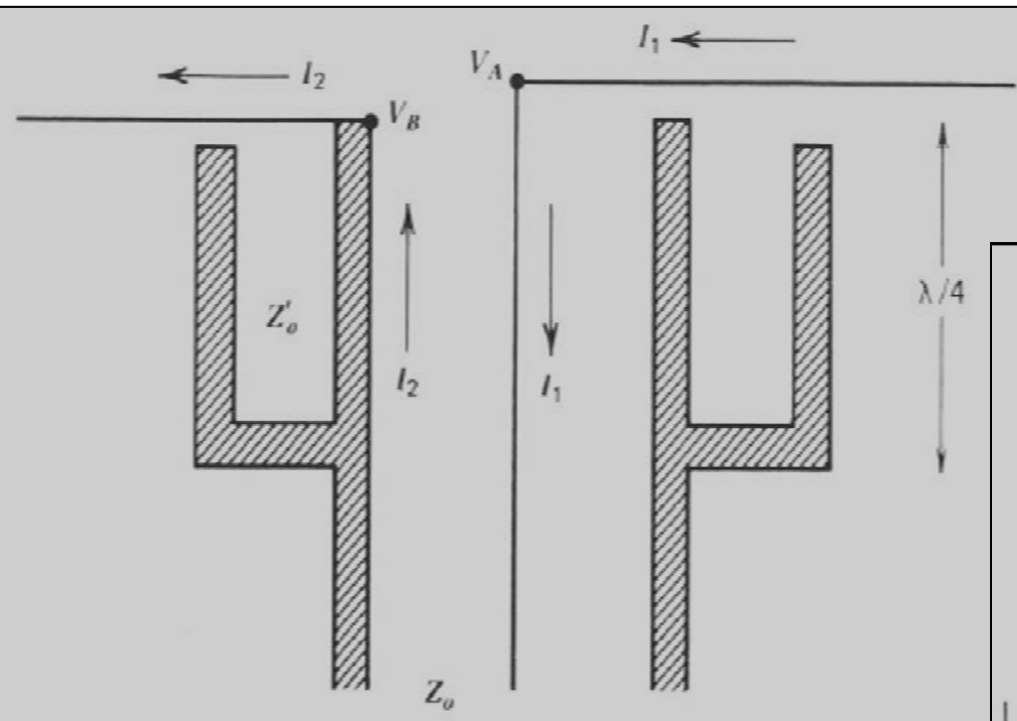
F. Transformasi Impedansi



Example:

Cross section of a coaxial transmission line feeding a dipole at its centre

F. Transformasi Impedansi Balun (BALanced to Unbalanced)

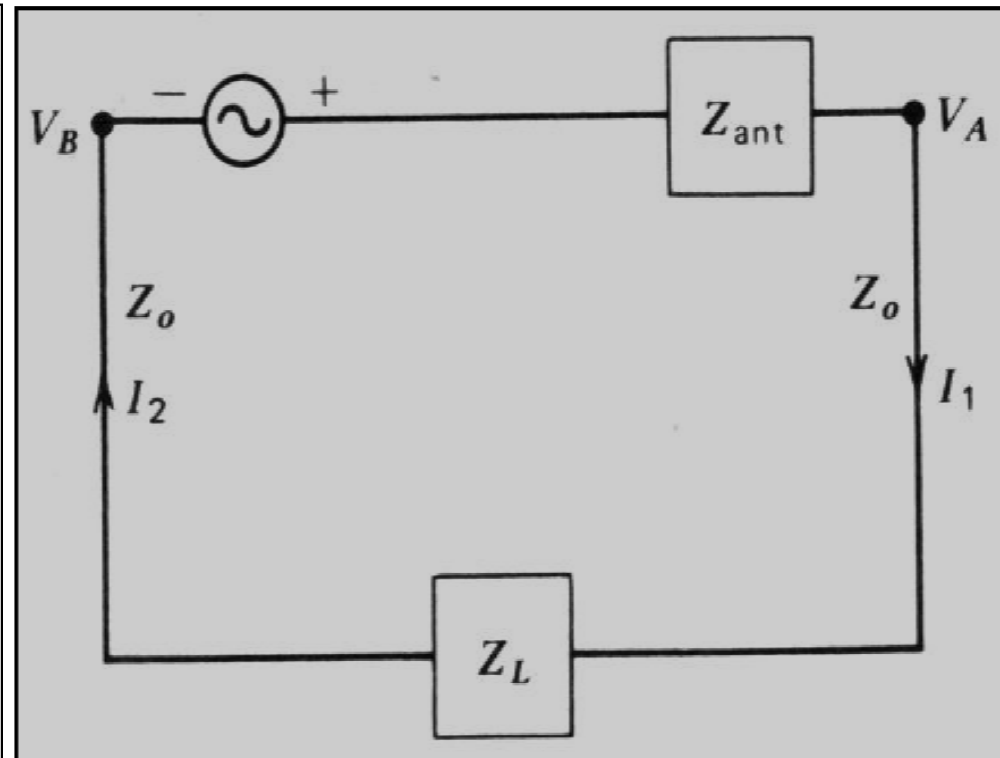
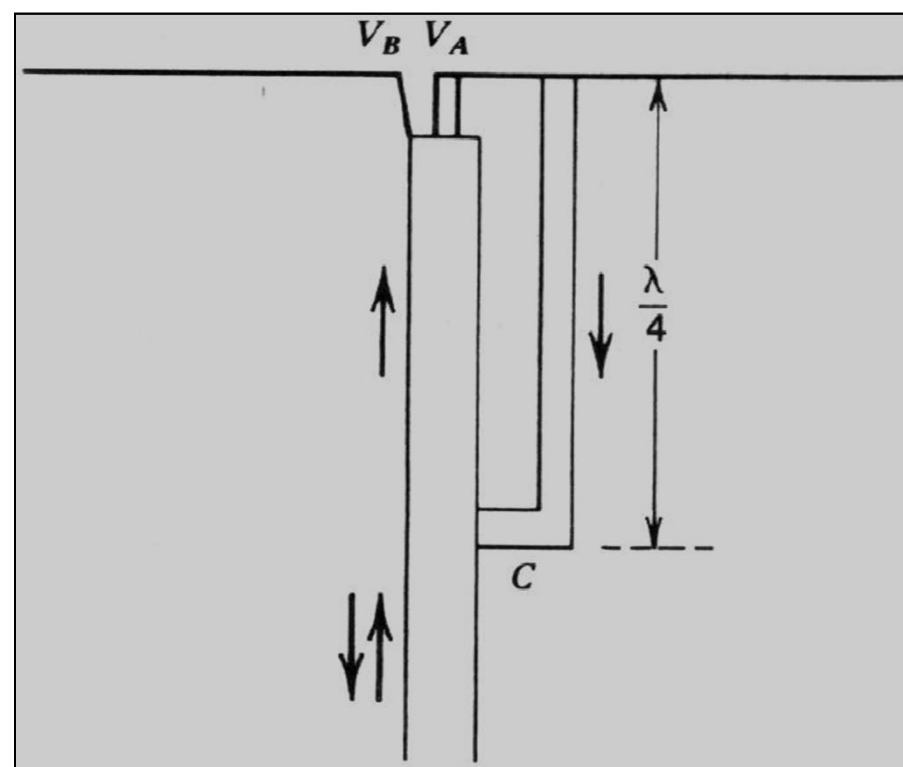


Cross section of a sleeve balun

F. Transformasi Impedansi

Balun (BALanced to Unbalanced)

Split coax Balun



Equivalent circuit

x	$S_0(x)$	$C_1(x)$	$C_{in}(x)$	x	$S_0(x)$	$C_1(x)$	$C_{in}(x)$
0.0	0.0	—∞	0.00000	4.9	1.56956	−0.19478	2.36123
0.1	0.09994	−1.72787	0.00250	5.0	1.54993	−0.19003	2.37668
0.2	0.19956	−1.04221	0.00998	5.1	1.53125	−0.18348	2.38993
0.3	0.29850	−0.64917	0.02242	5.2	1.51367	−0.17525	2.40113
0.4	0.39646	−0.37881	0.03973	5.3	1.49732	−0.16551	2.41043
0.5	0.49311	−0.17778	0.06185	5.4	1.48230	−0.15439	2.41800
0.6	0.58813	−0.02227	0.08866	5.5	1.46872	−0.14205	2.42402
0.7	0.68122	0.10051	0.12003	5.6	1.45667	−0.12867	2.42865
0.8	0.77210	0.19828	0.15579	5.7	1.44620	−0.11441	2.43209
0.9	0.86047	0.27607	0.19579	5.8	1.43736	−0.09944	2.43451
1.0	0.94608	0.33740	0.23981	5.9	1.43018	−0.08393	2.43610
1.1	1.02869	0.38487	0.28765	6.0	1.42469	−0.06806	2.43703
1.2	1.10805	0.42046	0.33908	6.1	1.42087	−0.05198	2.43749
1.3	1.18396	0.44574	0.39384	6.2	1.41871	−0.03587	2.43764
1.4	1.25623	0.46201	0.45168	6.3	1.41817	−0.01989	2.43765
1.5	1.32468	0.47036	0.51232	6.4	1.41922	−0.00418	2.43770
1.6	1.38918	0.47173	0.57549	6.5	1.42179	0.01110	2.43792
1.7	1.44959	0.46697	0.64088	6.6	1.42582	0.02582	2.43846
1.8	1.50582	0.45681	0.70819	6.7	1.43121	0.03986	2.43947
1.9	1.55778	0.44194	0.77713	6.8	1.43787	0.05308	2.44106
2.0	1.60541	0.42298	0.84738	6.9	1.44570	0.06539	2.44334
2.1	1.64870	0.40051	0.91864	7.0	1.45460	0.07670	2.44643
2.2	1.68762	0.37507	0.99060	7.1	1.46443	0.08691	2.45040
2.3	1.72221	0.34718	1.06295	7.2	1.47509	0.09596	2.45534
2.4	1.75249	0.31729	1.13539	7.3	1.48644	0.10379	2.46130
2.5	1.77852	0.28587	1.20764	7.4	1.49834	0.11036	2.46834
2.6	1.80039	0.25334	1.27939	7.5	1.51068	0.11563	2.47649
2.7	1.81821	0.22008	1.35088	7.6	1.52331	0.11960	2.48577
2.8	1.83210	0.18649	1.42035	7.7	1.53611	0.12225	2.49619
2.9	1.84219	0.15290	1.48903	7.8	1.54894	0.12359	2.50775
3.0	1.84865	0.11963	1.55620	7.9	1.56167	0.12364	2.52044
3.1	1.85166	0.08699	1.62163	8.0	1.57419	0.12243	2.53422
3.2	1.85140	0.05526	1.68511	8.1	1.58637	0.12002	2.54906
3.3	1.84808	0.02468	1.74646	8.2	1.59810	0.11644	2.56491
3.4	1.84191	−0.00452	1.80551	8.3	1.60928	0.11177	2.58170
3.5	1.83313	−0.03213	1.86211	8.4	1.61981	0.10607	2.59938
3.6	1.82195	−0.05797	1.91612	8.5	1.62960	0.09943	2.61785
3.7	1.80862	−0.08190	1.96745	8.6	1.63857	0.09194	2.63704
3.8	1.79339	−0.10378	2.01599	8.7	1.64665	0.08368	2.65686
3.9	1.77650	−0.12350	2.06169	8.8	1.65379	0.07476	2.67721
4.0	1.75820	−0.14098	2.10449	8.9	1.65993	0.06528	2.69799
4.1	1.73874	−0.15617	2.14437	9.0	1.66504	0.05535	2.71909
4.2	1.71837	−0.16901	2.18131	9.1	1.66908	0.04507	2.74042
4.3	1.69732	−0.17951	2.21534	9.2	1.67205	0.03455	2.76186
4.4	1.67583	−0.18766	2.24648	9.3	1.67393	0.02391	2.78332
4.5	1.65414	−0.19349	2.27478	9.4	1.67473	0.01325	2.80467
4.6	1.63246	−0.19705	2.30032	9.5	1.67446	0.00268	2.82583
4.7	1.61101	−0.19839	2.32317	9.6	1.67316	−0.00771	2.84669
4.8	1.58998	−0.19760	2.34344	9.7	1.67084	−0.01780	2.86715

x	$S_0(x)$	$C_1(x)$	$C_{in}(x)$	x	$S_0(x)$	$C_1(x)$	$C_{in}(x)$
9.8	1.66757	−0.02752	2.88712	14.6	1.59702	0.06278	3.19546
9.9	1.66338	−0.03676	2.90651	14.7	1.60296	0.05943	3.20563
10.0	1.65835	−0.04546	2.92526	14.8	1.60851	0.05554	3.21631
10.1	1.65253	−0.05352	2.94327	14.9	1.61360	0.05113	3.22744
10.2	1.64600	−0.06089	2.96050	15.0	1.61819	0.04628	3.23899
10.3	1.63883	−0.06751	2.97687	15.1	1.62226	0.04102	3.25089
10.4	1.63112	−0.07332	2.99234	15.2	1.62575	0.03543	3.26308
10.5	1.62294	−0.07828	3.00687	15.3	1.62865	0.02955	3.27552
10.6	1.61439	−0.08237	3.02044	15.4	1.63093	0.02345	3.28813
10.7	1.60556	−0.08555	3.03301	15.5	1.63258	0.01719	3.30086
10.8	1.59654	−0.08781	3.04457	15.6	1.63359	0.01084	3.31364
10.9	1.58743	−0.08915	3.05513	15.7	1.63396	0.00447	3.32641
11.0	1.57831	−0.08956	3.06467	15.8	1.63370	−0.00187	3.33910
11.1	1.56927	−0.08907	3.07323	15.9	1.63280	−0.00812	3.35165
11.2	1.56042	−0.08769	3.08082	16.0	1.63130	−0.01420	3.36400
11.3	1.55182	−0.08546	3.08748	16.1	1.62921	−0.02007	3.37610
11.4	1.54356	−0.08240	3.09323	16.2	1.62657	−0.02566	3.38789
11.5	1.53571	−0.07857	3.09813	16.3	1.62339	−0.03093	3.39931
11.6	1.52835	−0.07401	3.10224	16.4	1.61973	−0.03583	3.41033
11.7	1.52155	−0.06879	3.10560	16.5	1.61563	−0.04031	3.42088
11.8	1.51535	−0.06297	3.10828	16.6	1.61112	−0.04433	3.43095
11.9	1.50981	−0.05661	3.11036	16.7	1.60627	−0.04786	3.44049
12.0	1.50497	−0.04978	3.11190	16.8	1.60111	−0.05087	3.44947
12.1	1.50088	−0.04257	3.11299	16.9	1.59572	−0.05334	3.45787
12.2	1.49755	−0.03504	3.11369	17.0	1.59014	−0.05524	3.46567
12.3	1.49501	−0.02729	3.11410	17.1	1.58443	−0.05657	3.47287
12.4	1.49327	−0.01938	3.11429	17.2	1.57865	−0.05732	3.47945
12.5	1.49234	−0.01141	3.11435	17.3	1.57285	−0.05749	3.48541
12.6	1.49221	−0.00344	3.11436	17.4	1.56711	−0.05708	3.49076
12.7	1.49287	0.00443	3.11439	17.5	1.56146	−0.05610	3.49552
12.8	1.49430	0.01214	3.11452	17.6	1.55598	−0.05458	3.49969
12.9	1.49647	0.01961	3.11484	17.7	1.55070	−0.05252	3.50330
13.0	1.49936	0.02676	3.11540	17.8	1.54568	−0.04997	3.50638
13.1	1.50292	0.03355	3.11628	17.9	1.54097	−0.04694	3.50895
13.2	1.50711	0.03989	3.11754	18.0	1.53661	−0.04348	3.51106
13.3	1.51188	0.04574	3.11924	18.1	1.53264	−0.03962	3.51274
13.4	1.51716	0.05104	3.12143	18.2	1.52909	−0.03540	3.51404
13.5	1.52291	0.05576	3.12415	18.3	1.52600	−0.03088	3.51500
13.6	1.52905	0.05984	3.12744	18.4	1.52339	−0.02610	3.51566
13.7	1.53552	0.06327	3.13134	18.5	1.52128	−0.02111	3.51609
13.8	1.54225	0.06602	3.13587	18.6	1.51969	−0.01596	3.51634
13.9	1.54917	0.06806	3.14104	18.7	1.51863	−0.01071	3.51644
14.0	1.55621	0.06940	3.14688	18.8	1.51810	−0.00540	3.51647
14.1	1.56330	0.07002	3.15337	18.9	1.51810	−0.00010	3.51648
14.2	1.57036	0.06993	3.16053	19.0	1.51863	0.00515	3.51650
14.3	1.57733	0.06914	3.16834	19.1	1.51967	0.01029	3.51661
14.4	1.58414	0.06767	3.17678	19.2	1.52122	0.01528	3.51685
14.5	1.59072	0.06554	3.18583	19.3	1.52324	0.02006	3.51726

(continued overleaf)

x	$S_i(x)$	$C_i(x)$	$C_{in}(x)$	x	$S_i(x)$	$C_i(x)$	$C_{in}(x)$
19.4	1.52572	0.02459	3.51790	19.8	1.53954	0.03943	3.52347
19.5	1.52863	0.02883	3.51880	19.9	1.54378	0.04215	3.52579
19.6	1.53192	0.03274	3.52000	20.0	1.54824	0.04442	3.52853
19.7	1.53557	0.03629	3.52155				

Lampiran Tabel

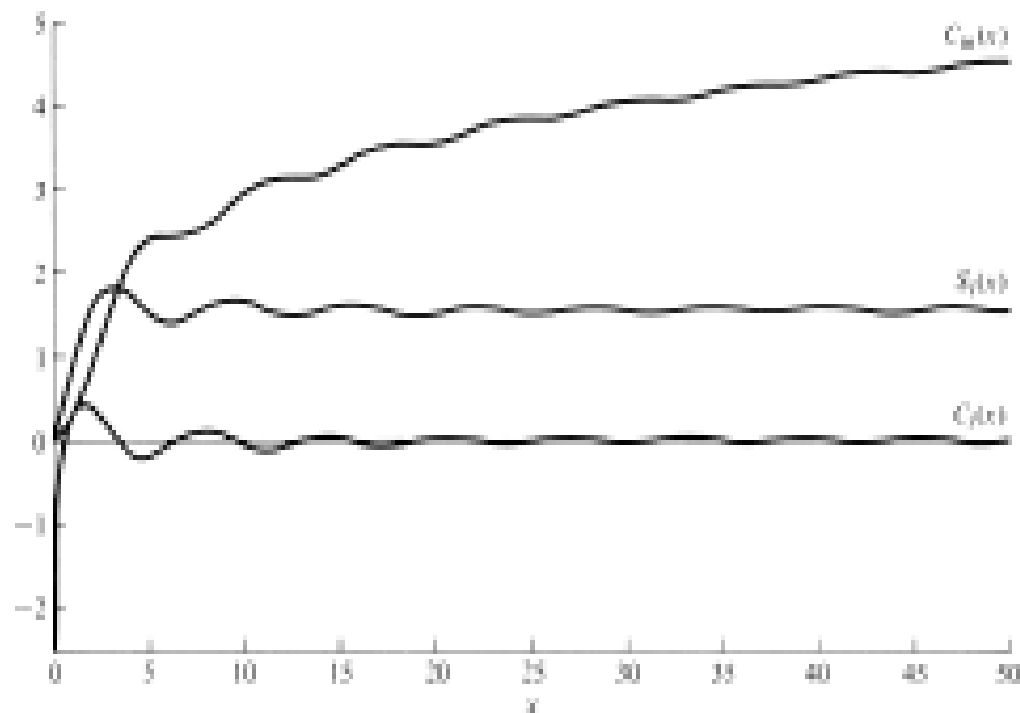


Figure III.1 Plots of sine and cosine integrals.

**Sudah Pusing?..., kalau belum,
Mari kita lanjutkan.....**



Questions?



