

Antena dan Propagasi (TTH3G3)



Dosen :

Yussi Perdana Saputera, ST., MT., IPM., ASEAN Eng.

Modul ke 1

**Prodi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
2020**

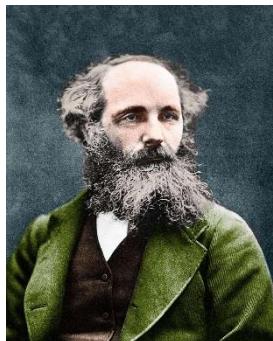
“Kalau bukan anak bangsa ini
yang membangun bangsanya, siapa lagi?
Jangan saudara mengharapkan orang lain
yang datang membangun bangsa kita”
(BJ Habibie)



Sejarah

Sejarah telekomunikasi listrik dimulai secara „resmi“ pertamakali saat tahun 1938 SFB Morse berhasil melakukan hubungan telegraf sejauh 16 km.

Hingga telekomunikasi mencapai bentuk canggihnya sekarang, telekomunikasi telah melalui sejarah panjang eksperimen dan riset bidang fisika dan matematika



James Clerk Maxwell menemukan fenomena arus pergeseran yang menjadi dasar ilmu radiasi pada tahun 1864 melalui suatu manipulasi matematis diferensial. Tahun 1873, dia menunjukkan bahwa cahaya termasuk dalam kelompok gelombang EM dalam papernya , “*A Treatise on Electricity and Magnetism*”.



Heinrich Rudolph Hertz mendemonstrasikan sistem gelombang EM tanpa kabel pertamakali tahun 1886 dengan menggunakan dipole $\lambda/2$. Pada 1890, dia mempublikasikan catatannya tentang elektrodinamika, dan melakukan penyederhanaan persamaan-persamaan elektromagnetika

Sejarah

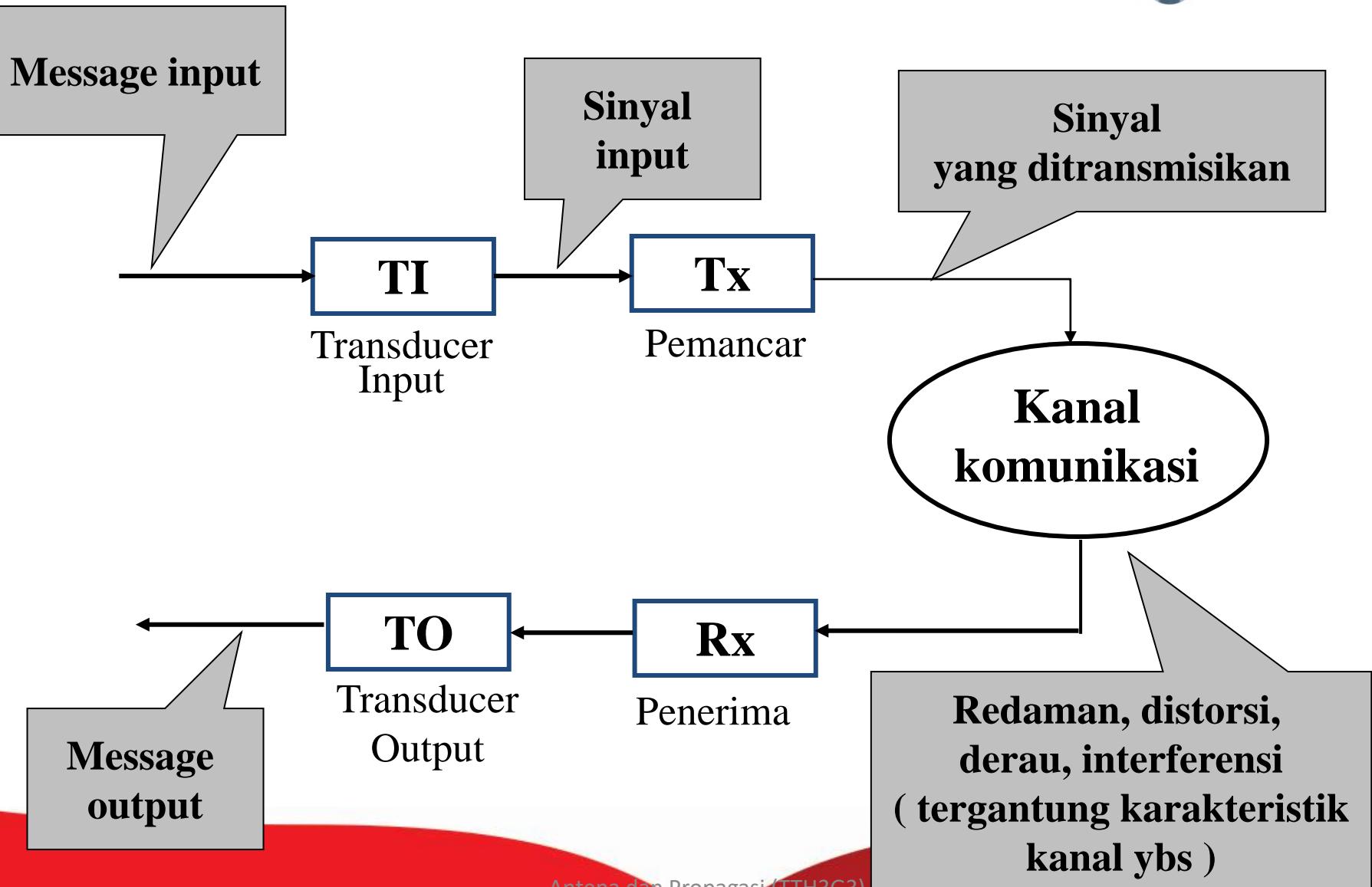


Bulan Mei 1895, pesan telegraf yang pertama berhasil ditransmisikan, diterima, dan diterjemahkan melalui eksperimen ilmuwan Rusia yang brillian bernama **Alexander Popov**. Pesan dikirimkan dari kapal perang Rusia sejauh 30 mil menuju laboratoriumnya di St. Petersburg, Rusia. Sayang sekali bahwa eksperimen tersebut sangat dirahasiakan sehingga sebutan “Bapak Radio” jatuh pada G Marconi. Lebih jauh, dunia barat baru mengenal pengiriman pesan melalui eksperimen S.F.B Morse tahun 1938.



Guglielmo Marconi (*The Father of Radio*) terkenal dengan eksperimennya yang mengirimkan sinyal pada jarak jauh. Pada tahun 1901, dia melakukan eksperimennya yang terkenal dengan mengirimkan sinyal trans atlantic dari Poldhu di Cornwall, England, menuju Newfoundland, Canada.

Model Sistem Komunikasi



Model Sistem Komunikasi

- **Fungsi dasar komunikasi**
 - Transmisi atau pengiriman informasi, dimana tiap macam sistem memiliki kekhususan tersendiri
- **Definisi komunikasi**
 - Proses pemindahan informasi dari satu titik ke titik lainnya dalam ruang dan waktu tertentu
- **Message / pesan**
 - Manifestasi informasi dari sumber informasi (orang, alat musik, mesin, dll) berupa suara, data, bahkan kode-kode tertentu
- **Tujuan komunikasi**
 - Menyediakan replika message di tempat tujuan
- **Transducer**
 - Mengubah message menjadi sinyal listrik dan sebaliknya
 - Ada 2 macam : Transducer Input (TI) dan Transducer Output (TO)

Sifat-sifat gelombang elektromagnetik

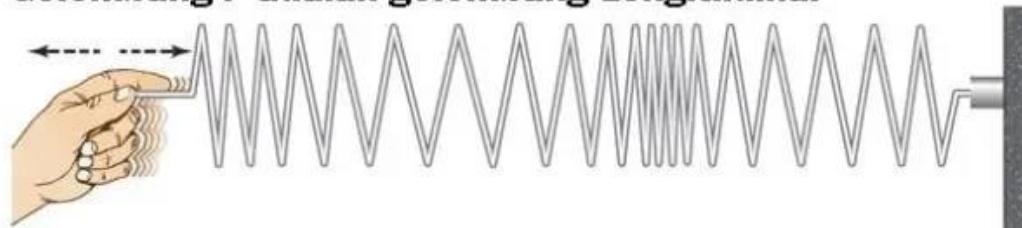
1. Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang tanpa medium
2. Merupakan gelombang transversal
3. Tidak memiliki muatan listrik sehingga bergerak lurus dalam medan magnet maupun medan listrik
4. Dapat mengalami pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), perpaduan (interferensi), pelenturan (difraksi), pengutuban (polarisasi)
5. Perubahan medan listrik dan medan magnet terjadi secara bersamaan, sehingga medan listrik dan medan magnet sefase dan berbanding lurus

Sifat-sifat gelombang elektromagnetik

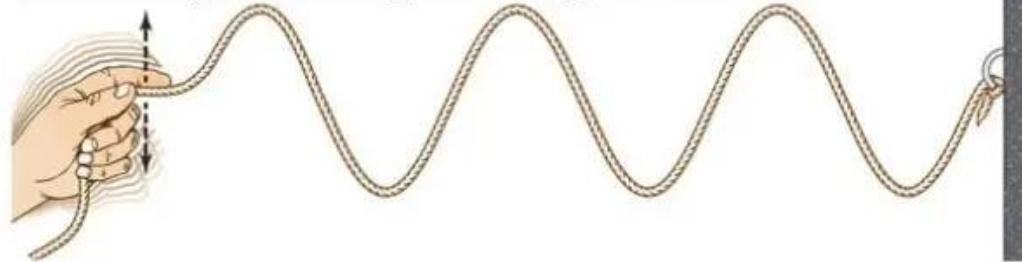
Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus dengan arah getarannya

Gelombang Longitudinal yaitu jenis gelombang yang memiliki arah rambat sejajar dengan arah getarnya.

Gelombang P adalah gelombang Longitudinal



Gelombang S adalah gelombang Transversal



Refleksi (Pantulan)

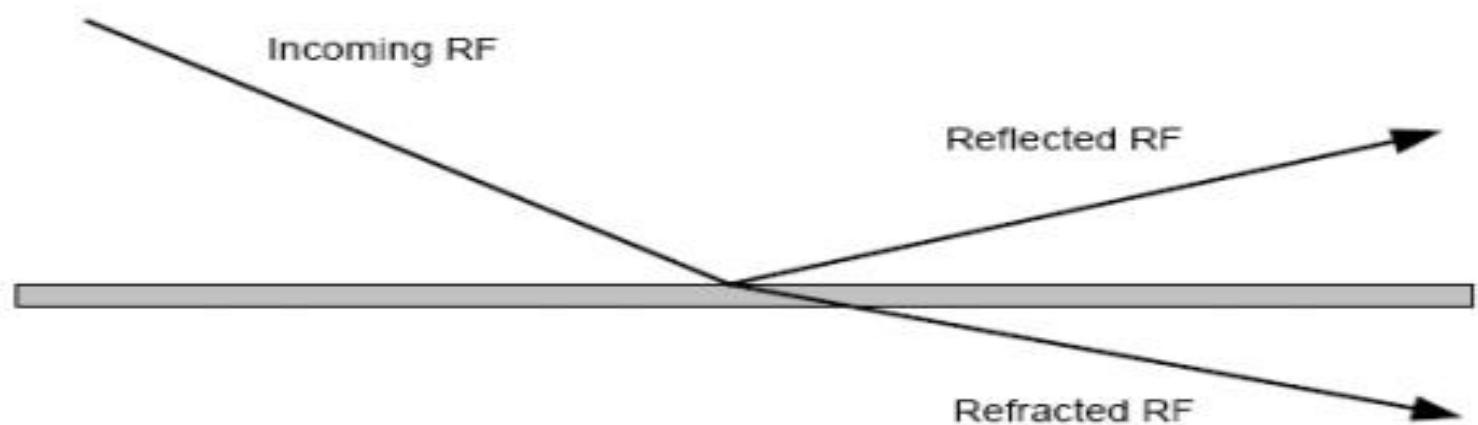
Refleksi terjadi ketika pemancar gelombang elektromagnetik mengenai object yang memiliki dimensi yang sangat besar ketika dibandingkan dengan lamanya gelombang dari pemancar gelombang. Refleksi terjadi pada permukaan bumi, bangunan ,tembok, dan panghalang yang lain.

Reflection



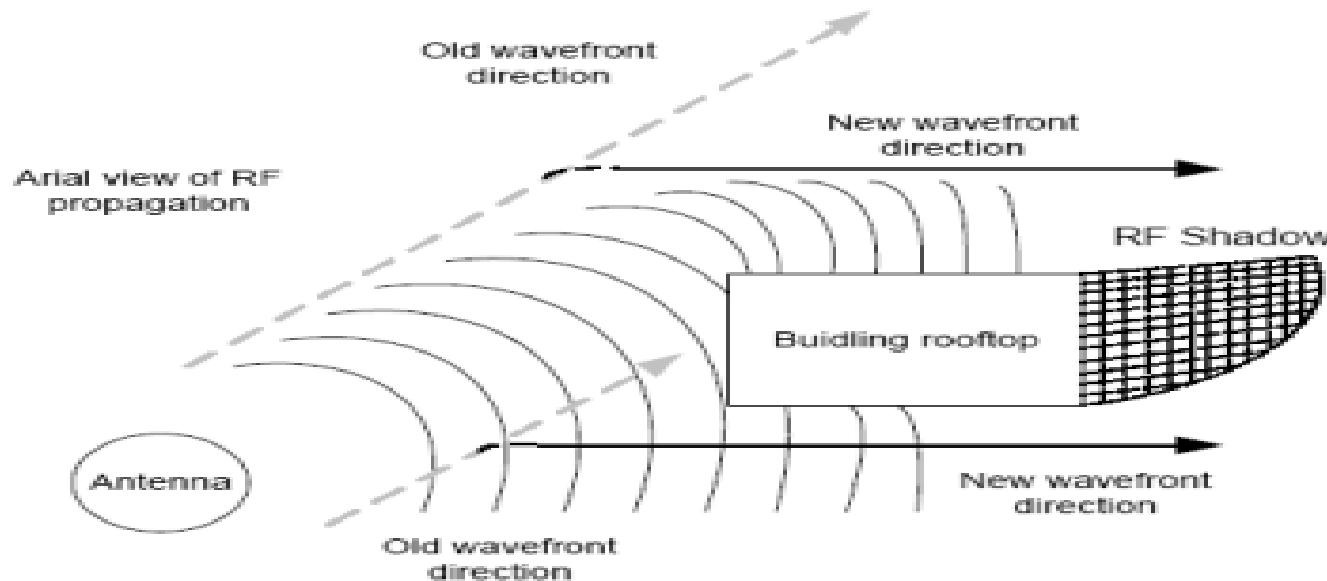
Refraksi (pembiasan)

Refraksi adalah pembelokan gelombang radio yang melewati medium yang memiliki kepadatan yang berbeda. Seperti gelombang RF yang melewati medium yang lebih padat gelombang akan cenderung melewati arah yang lain, seperti diilustrasikan pada Gambar .



Difraksi (pembelokan)

Difraksi terjadi ketika garis edar radio antara pengirim dan penerima dihambat oleh permukaan yang tajam atau dengan kata lain kasar.



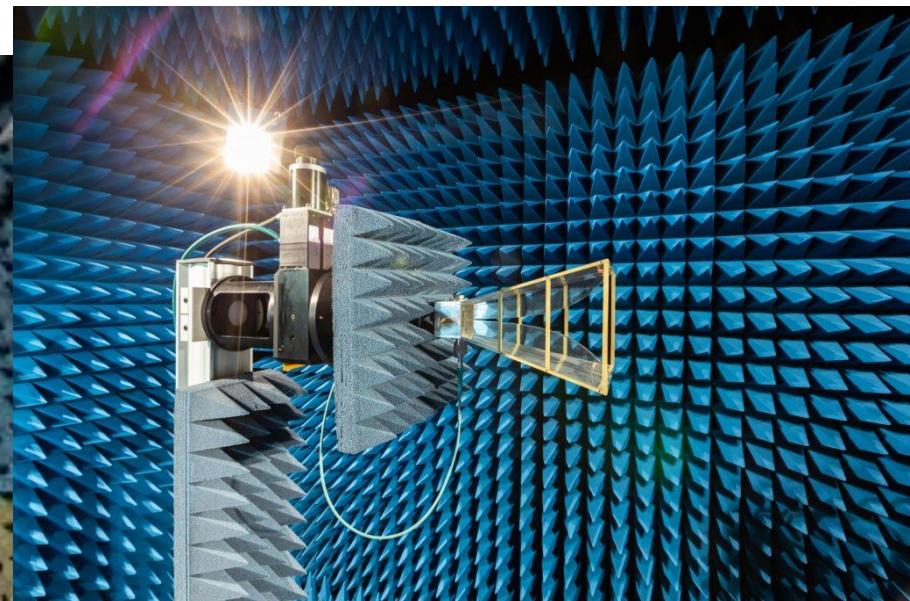
Scatering (penyebaran)

Penyebaran terjadi ketika medium dimana gelombang merambat mengandung object yang kecil dibandingkan dengan panjang sinyal gelombang, dan jumlah object perunit volume sangat besar.

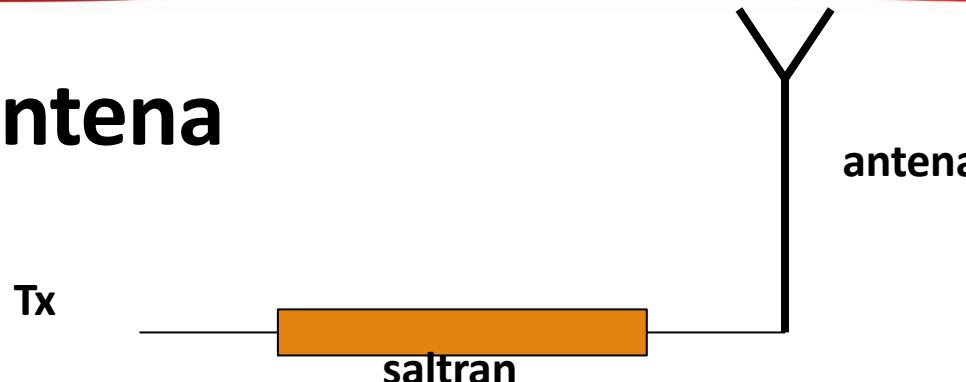


Absorpsi (penyerapan)

Penyerapan terjadi ketika sinyal RF merambat objek dan terserap dalam material objek dengan cara tidak menembusnya, memantul, atau mengitari objek



Definisi Antena



(IEEE Std 145–1983):

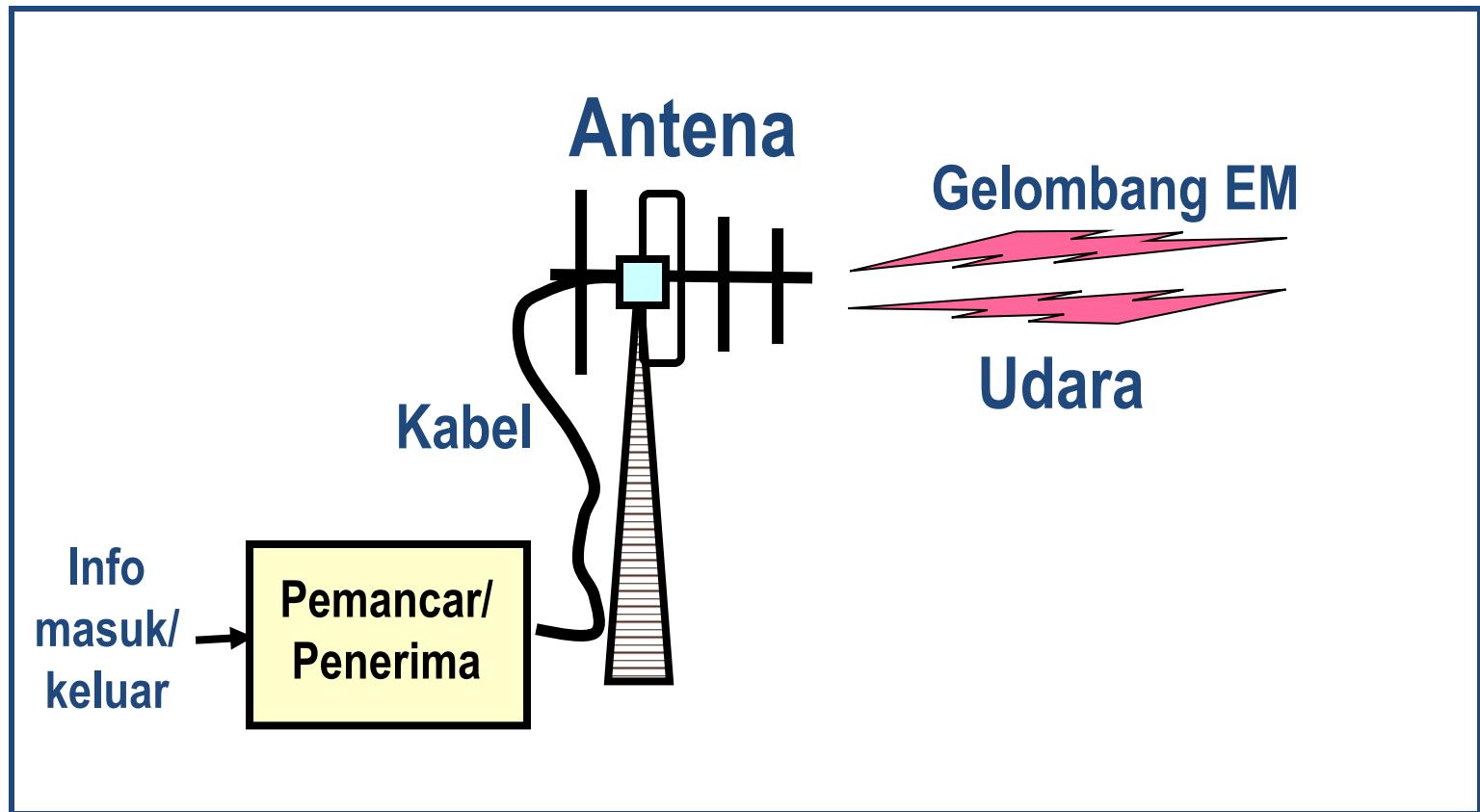
Antena atau aerial adalah sebuah alat untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio.

Atau:

Antena adalah struktur transisi antara ruang bebas dengan saluran transmisi atau perangkat pembimbing.

Saluran transmisi atau perangkat pembimbing merupakan alat yang menyalurkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena (*transmitting system*) atau dari antena ke perangkat penerima (*receiving system*), dapat berupa kabel koaksial atau *waveguide*.

Ilustrasi komunikasi dengan antena



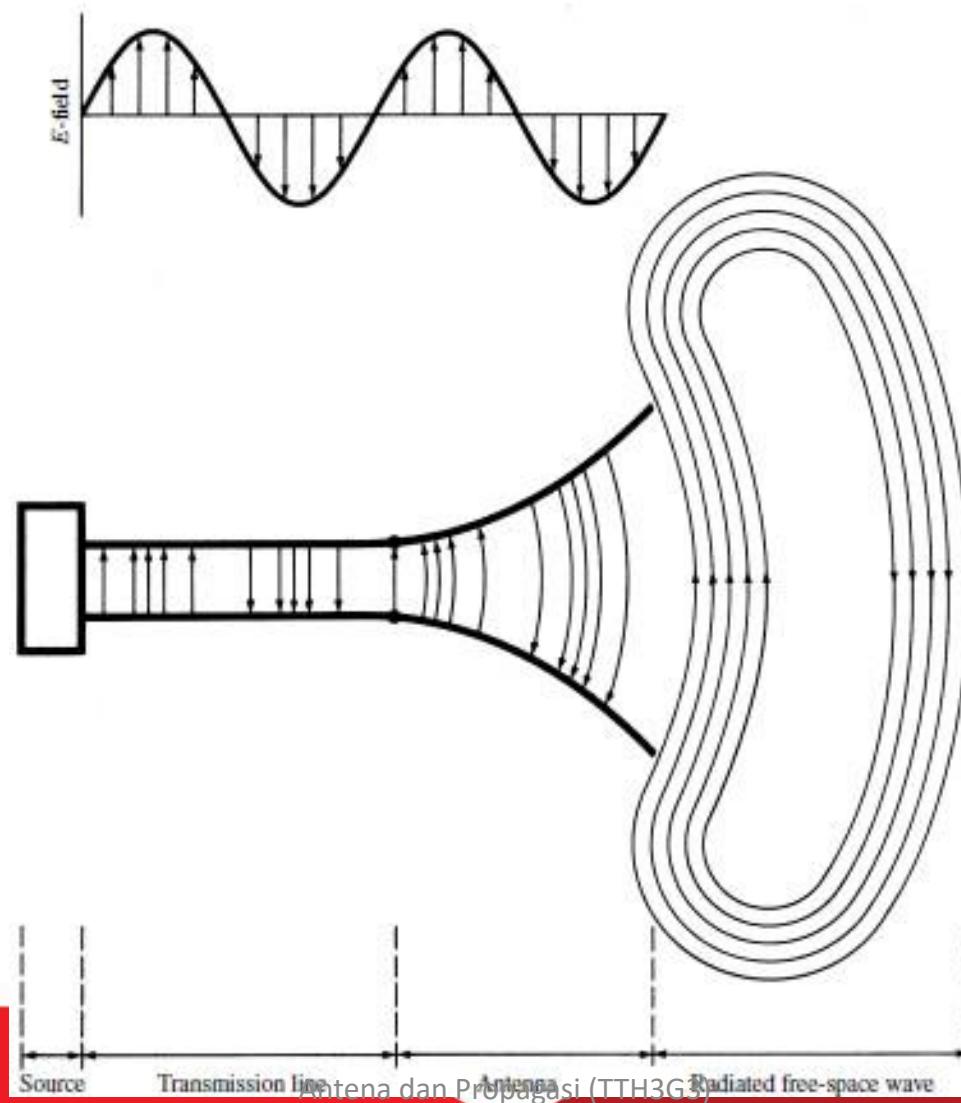
Sifat antena yang ideal antara lain:

1. Menerima secara efisien sinyal-sinyal yang diinginkan tanpa memindah band.
2. Secara normal mempunyai sifat *omnidirectional*, baik untuk gelombang panjang maupun pendek. Antena *directional* dibutuhkan untuk gelombang VHF/UHF maupun gelombang mikro.
3. Mempunyai perubahan resistensi dan reaktansi yang kecil terhadap perubahan frekuensi sinyal.
4. Efek pemudaran (*fading*) *seminimal* mungkin, baik untuk gelombang panjang, medium maupun gelombang pendek.
5. Efek interferensi dari instalasi listrik dalam rumah sekecil mungkin.
6. Harus tahan karat atau kerusakan terhadap cuaca dan juga mudah pemasangannya
7. Antena harus murah dan baik dipandang.

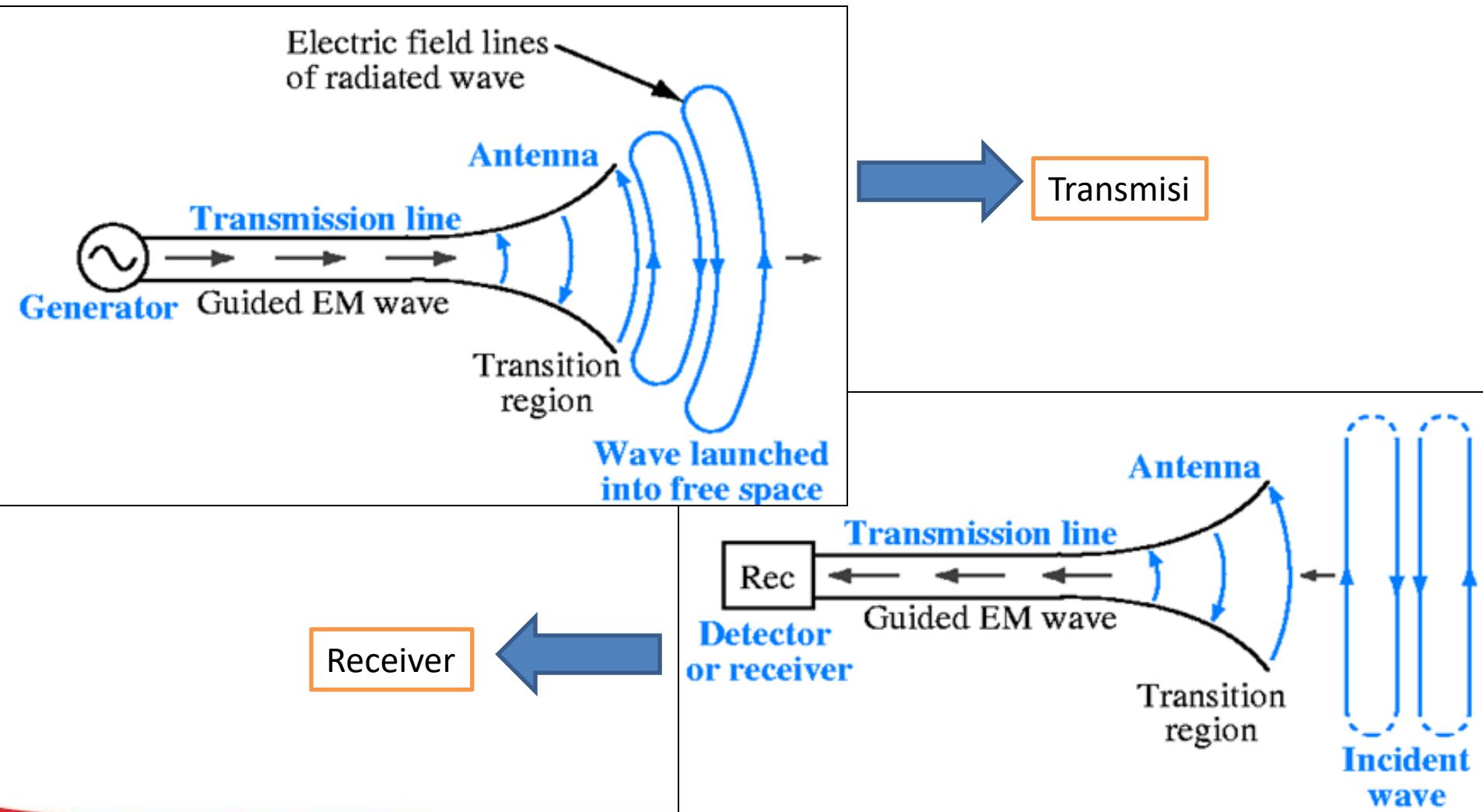
FUNGSI ANTENA

- Antena berfungsi sebagai transducer yang mengubah energi listrik yang merambat dalam kabel menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara dan/atau sebaliknya.
- Antena pemancar digunakan sebagai mekanisme untuk mengubah energi listrik yang merambat dalam kabel menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara.
- Antena penerima digunakan sebagai mekanisme untuk mengubah gelombang elektromagnetik di udara menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat dalam kabel/saluran transmisi

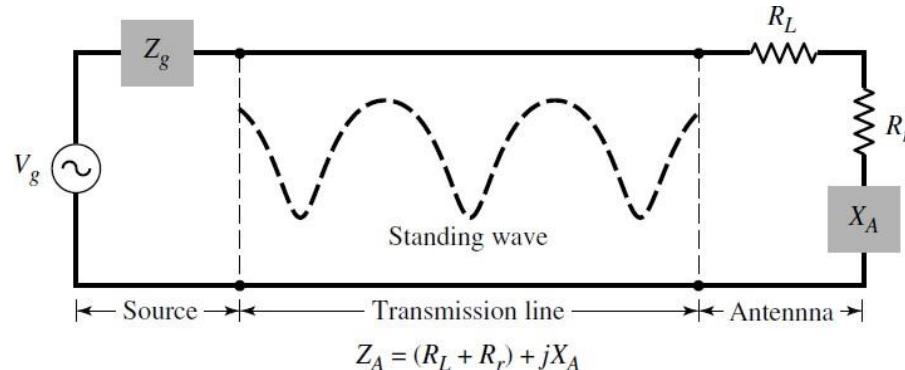
Antena sebagai struktur tranmisi



Mode Ilustrasi Transmisi dan Receiver



Rangkaian Elektronika Antena



V_g = sumber tegangan

Z_g = Impedansi sumber energi

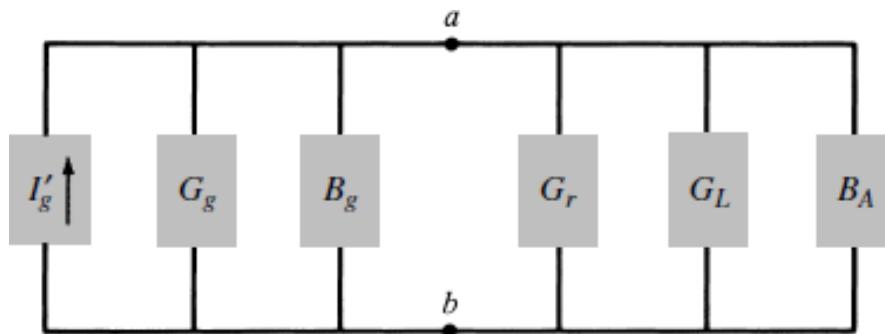
R_L = resistansi saluran transmisi

R_r = resistansi radiasi

X_A = reaktansi antena

Z_A = impedansi antena

Rangkaian setara Thevenin



Rangkaian setara Norton

I_g = sumber arus

G_g = konduktansi sumber

B_g = reaktansi sumber

G_r = konduktansi radiasi

G_L = konduktansi saluran transmisi

B_A = reaktansi antena

Y_g = admitansi sumber

$$= G_g + jB_g$$

Review Elektromagnetika



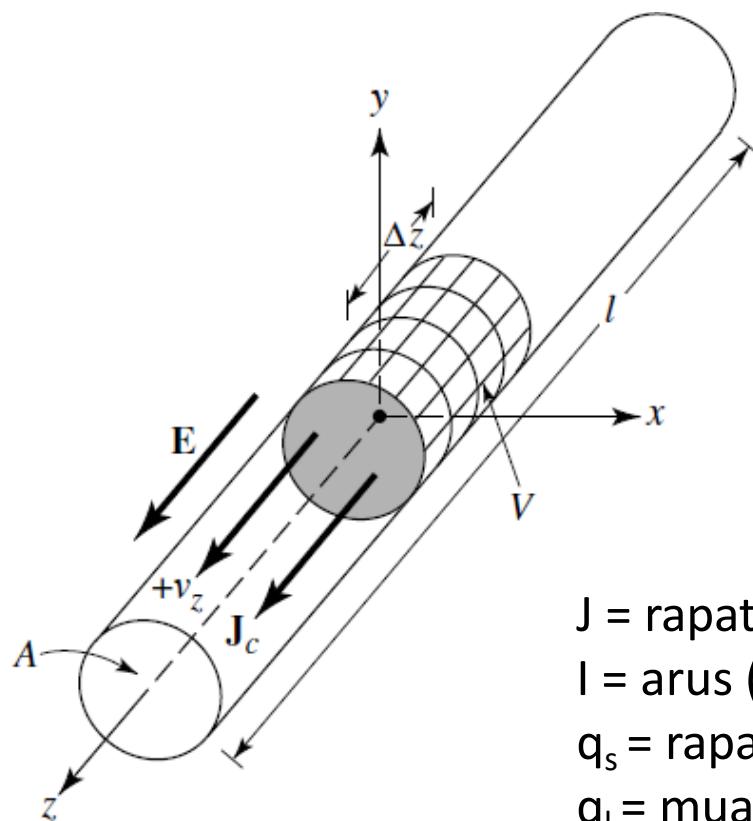
Persamaan Maxwell (th 1864)

- Konsep yang mendasari semua fenomena dalam elektromagnetika
- Persamaan bentuk integral di bawah menjelaskan arti fisis dari perilaku listrik dan magnit

Hukum Faraday	$\oint \vec{E} \bullet d\vec{L} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \bullet d\vec{S}$
Hukum Ampere dan Arus Pergeseran Maxwell	$\oint \vec{H} \bullet d\vec{L} = \int \vec{J} \bullet d\vec{S} + \frac{d}{dt} \int \vec{D} \bullet d\vec{S}$
Hukum Gauss	$\oint \vec{D} \bullet d\vec{S} = \int \rho_v dV = Q$
Hukum Gauss Untuk Medan Magnet	$\oint \vec{B} \bullet d\vec{S} = 0$

Konsep Radiasi

Mekanisme Radiasi Konduktor Tunggal



$$J_s = q_s v_z \quad \text{Eq. 1}$$

$$I_z = q_l v_z \quad \text{Eq. 2}$$

$$\frac{dI_z}{dt} = q_l \frac{dv_z}{dt} = q_l a_z \quad \text{Eq. 3}$$

$$l \frac{dI_z}{dt} = l q_l \frac{dv_z}{dt} = l q_l a_z \quad \text{Eq. 4}$$

J = rapat arus (ampere/m)

I = arus (ampere)

q_s = rapat muatan (colomb/m²)

q_l = muatan per satuan panjang (colomb/m)

l = panjang konduktor (m)

v = kecepatan (m/s)

a = percepatan (m/s²)

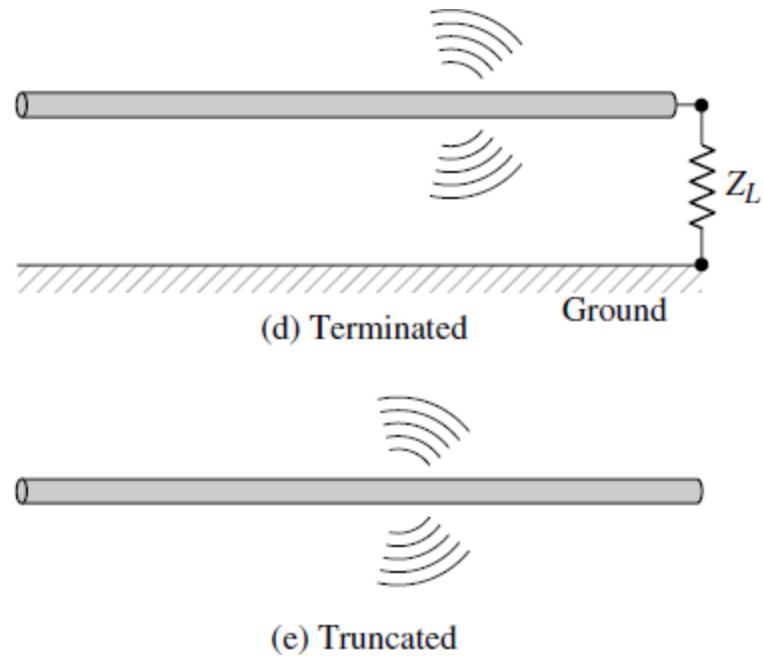
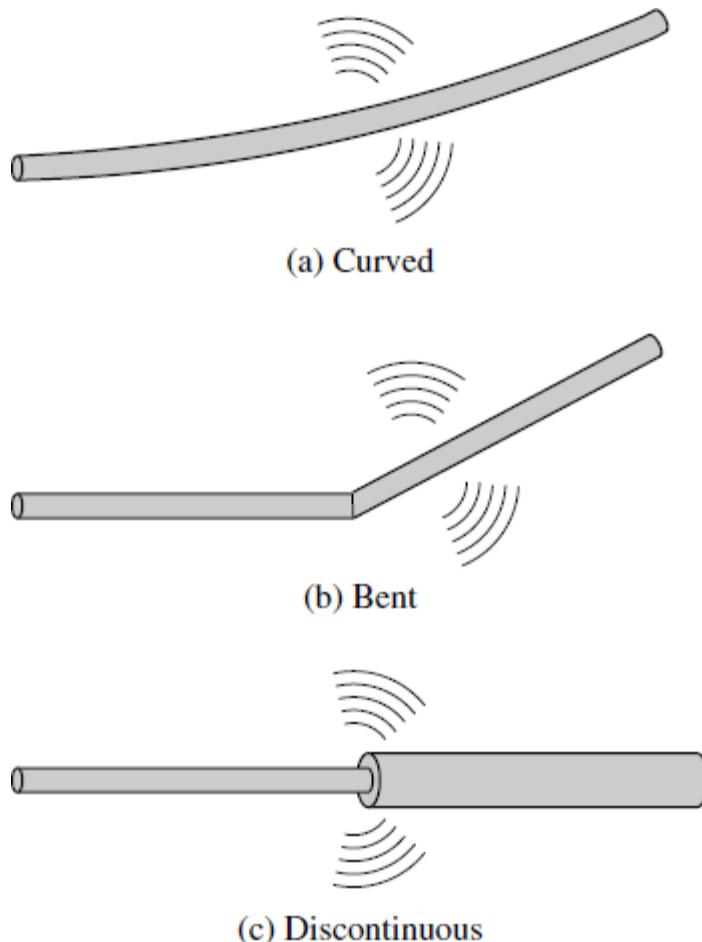
Mekanisme Radiasi Konduktor Tunggal



Persamaan 4 menyatakan bahwa untuk menghasilkan radiasi elektromagnetik, haruslah ada arus yang berubah menurut waktu, atau adanya percepatan muatan. Hal ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Jika muatan tidak bergerak, arus tidak tercipta sehingga tidak ada radiasi.
2. Jika muatan bergerak dengan kecepatan konstan maka:
 - a) Jika konduktor memiliki geometri lurus dengan panjang tak terhingga, maka tidak ada radiasi.
 - b) Radiasi akan ada apabila konduktor tersebut melengkung, bengkok, memiliki perbedaan diameter, terpotong atau terhubung dengan *ground*.
3. Radiasi akan ada jika muatan berosilasi menurut waktu, walaupun konduktor memiliki geometri lurus dengan panjang tak terhingga.

Mekanisme Radiasi Konduktor Tunggal

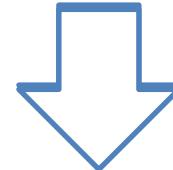


Mekanisme Radiasi Konduktor Tunggal

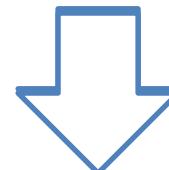


agar mudah mengingatnya.....

Muatan yang bergerak

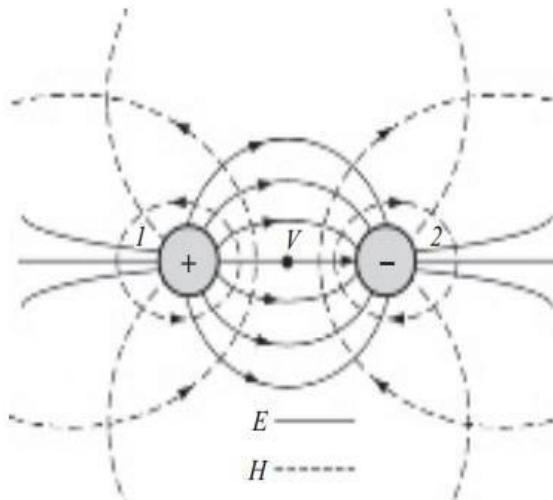


Perubahan vektor



Radiasi EM

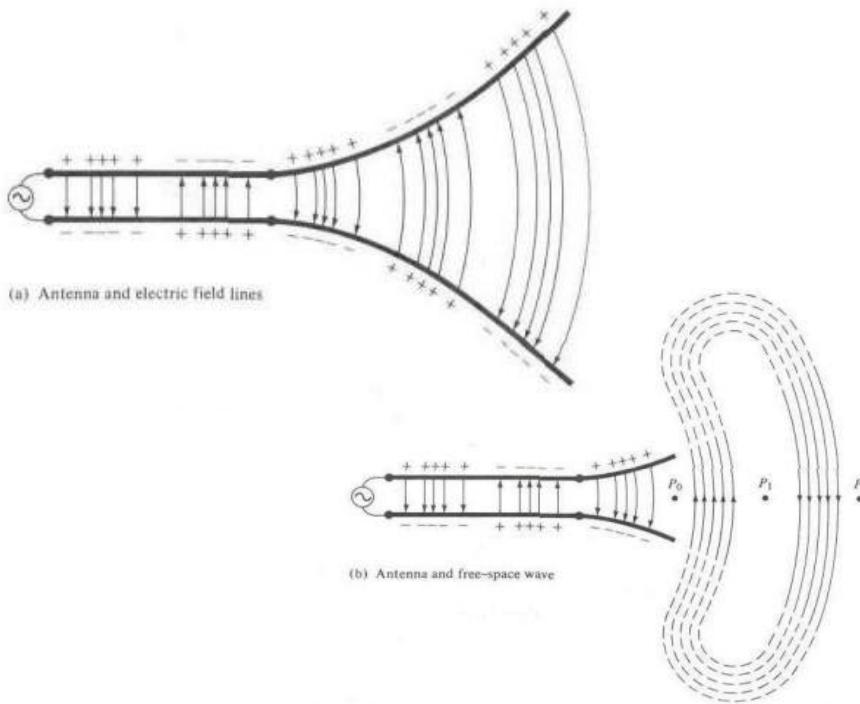
Mekanisme Radiasi Konduktor Ganda



- Keberadaan medan magnet diilustrasikan dengan adanya garis gaya medan magnet yang digambarkan dengan anak panah yang selalu membentuk loop tertutup yang melingkari kawat konduktor yang dialiri arus.

- Ketika sumber mencatu dua kawat sejajar yang ujungnya membentuk struktur antena, medan listrik terbentuk diantara dua konduktor.
- Keberadaan medan listrik diilustrasikan dengan garis gaya medan listrik yang digambarkan dengan anak panah dengan arah dari muatan positif ke muatan negatif.(bisa juga dari muatan positif ke tak hingga, dari tak hingga ke muatan negatif, atau membentuk loop tertutup tanpa berawal atau berakhir pada suatu muatan)
- Besarnya intensitas medan listrik digambarkan dengan rapat atau renggangnya garis gaya medan listrik.
- Pergerakan muatan negatif (elektron) membuat arus mengalir, adanya arus menyebabkan munculnya medan magnet.

Mekanisme Radiasi Konduktor Ganda



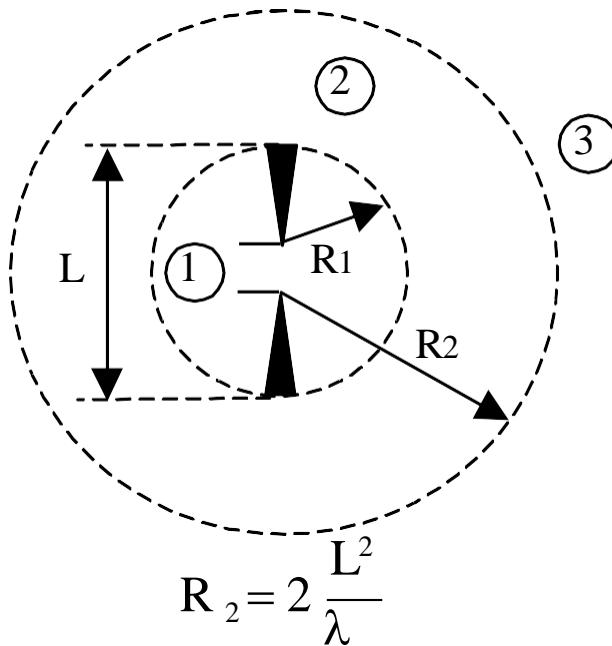
- Artinya muatan listrik dibutuhkan untuk mencatu medan elektromagnet tetapi tidak dibutuhkan untuk mempertahankan keberadaan medan tersebut (analogi seperti gelombang di permukaan air)

- Karena sumber yang diberikan adalah berubah terhadap waktu (contoh : sinusoidal) maka, medan listrik dan medan magnet yang terbentuk juga berubah terhadap waktu. Sehingga membentuk GEM yang merambat disepanjang saluran dua kawat. Ketika GEM sampai diujung saluran, free space wave terbentuk dengan “menghubungkan” garis gaya medan listrik membentuk loop tertutup.
- Keberadaan GEM dalam saluran ditandai dengan adanya muatan-muatan dalam konduktor. Tetapi, ketiga GEM ini diradiasikan (free space wave), garis medan listrik membentuk loop tertutup dan tidak ada muatan yang menjadi sebab keberadaannya.

Parameter Radiasi Antena

Parameter/ Karakteristik Antena

(Near Field dan Far Field)



Karakteristik Medan Dekat (Near Field) Antena

Karakteristik Medan Jauh (Far Field) Antena

- **Daerah 1** : Daerah antena, benda-benda didaerah ini saling mempengaruhi dengan antena (impedansi dan pola pancar)
- **Daerah 2** : Daerah medan dekat / daerah Fresnell, di daerah ini medan listrik dan magnet belum transversal penuh
- **Daerah 3** : Daerah medan jauh/daerah fraunhofer, di daerah ini, medan listrik dan magnet transversal penuh dan keduanya tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang

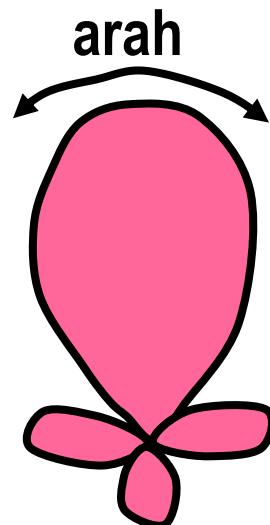
- ✓ Impedansi antena, Return Loss, VSWR
- ✓ Bandwidth antena
- ✓ Efisiensi antena
- ✓ Diagram arah / pola radiasi
- ✓ Lebar berkas / Beamwidth
- ✓ Direktivitas
- ✓ Gain
- ✓ Polarisasi

Directivity

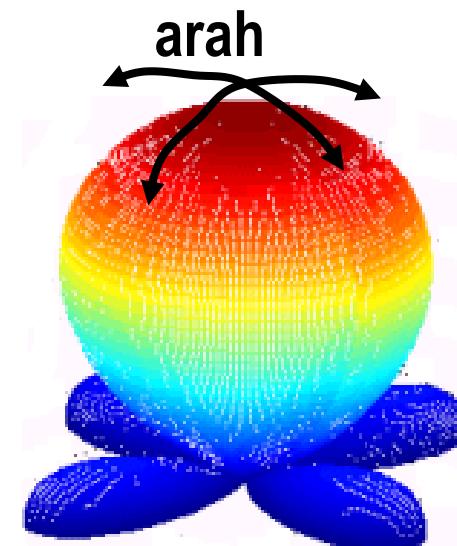
- *Directivity dari sebuah* antena atau deretan antena diukur pada kemampuan yang dimiliki antena untuk memusatkan energi dalam satu atau lebih ke arah khusus.
- Antena dapat juga ditentukan pengaruhnya tergantung dari pola radiasinya.
- Dalam sebuah array propagasi akan diberikan jumlah energi, gelombang radiasi akan dibawa ketempat dalam suatu arah.
- Elemen dalam array dapat diatur sehingga akan mengakibatkan perubahan pola atau distribusi energi lebih yang memungkinkan ke semua arah.
- Suatu hal yang tidak sesuai juga memungkinkan.
- Elemen dapat diatur sehingga radiasi energi dapat dipusatkan dalam satu arah.

Pola Radiasi

Pola radiasi adalah pernyataan secara grafis yang menggambarkan sifat radiasi dari antena (pada medan jauh) sebagai fungsi dari arah

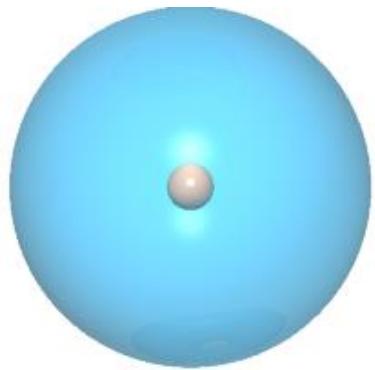


Dua dimensi

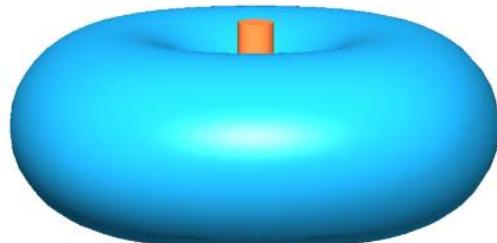


Tiga dimensi

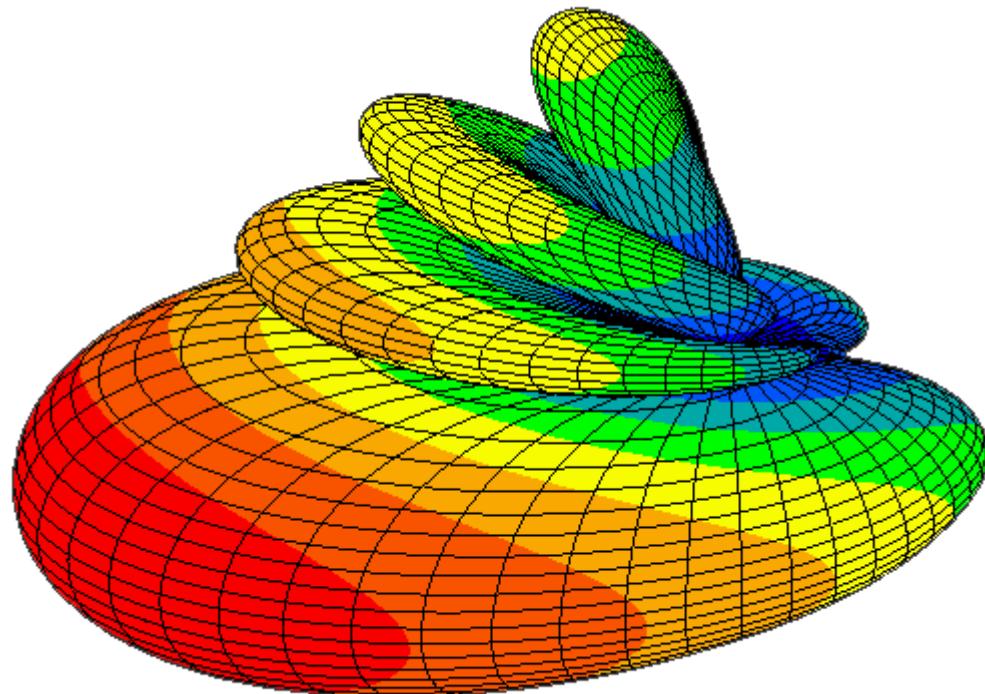
Contoh Pola Radiasi



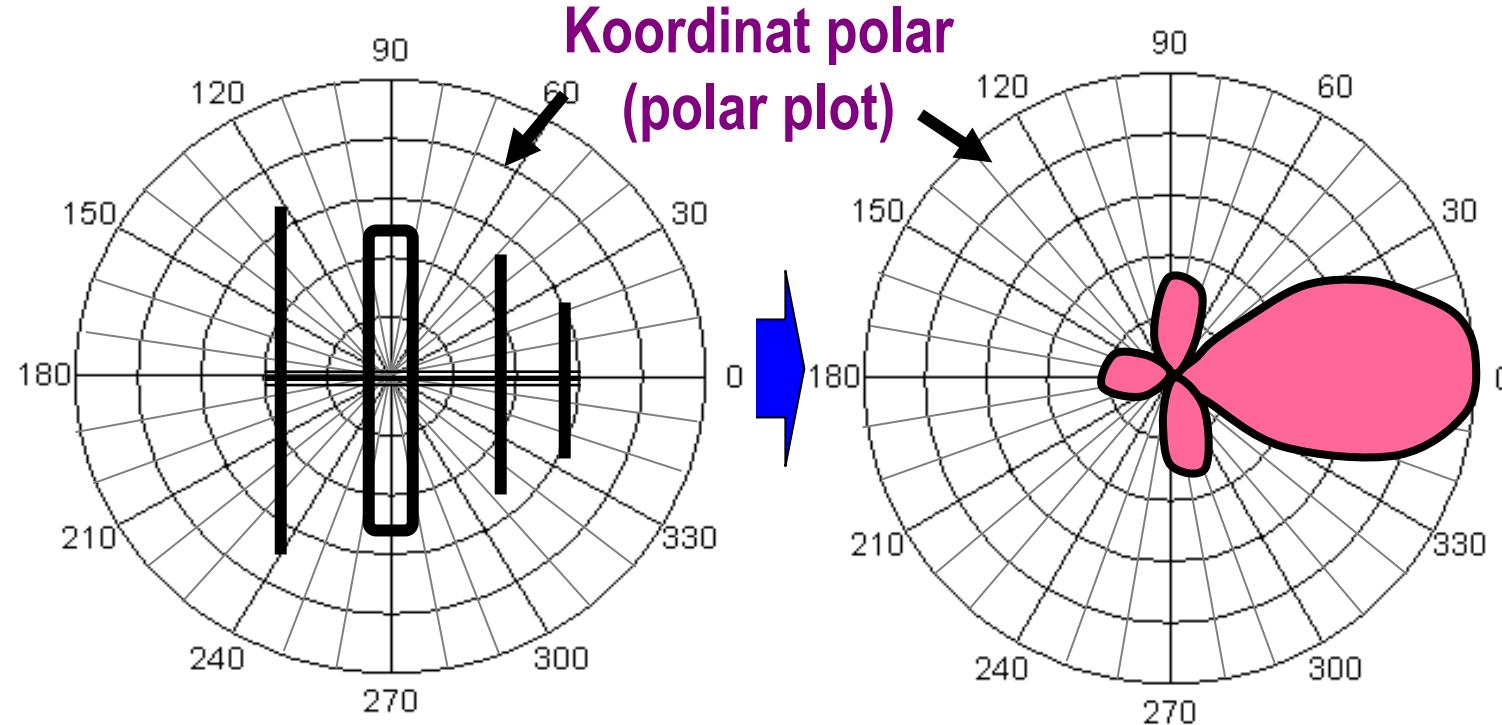
Ideal radiating dot source
(lossless radiator)



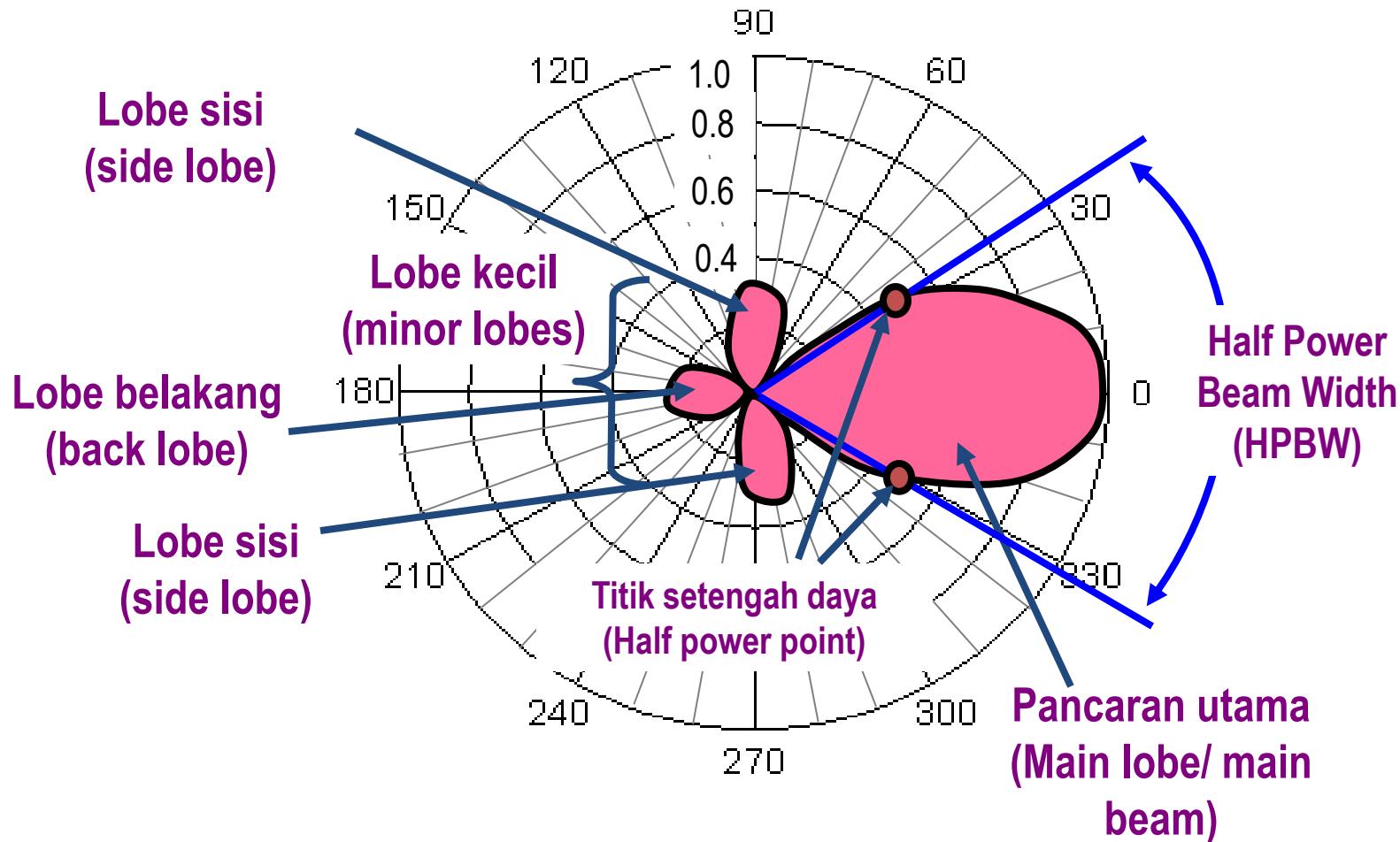
Dipole



Ilustrasi Pola Radiasi



Penjelasan Pola Radiasi



Penjelasan Pola Radiasi

- ↗ Beam utama (main beam) atau lobe utama (main lobe) adalah pancaran utama dari pola radiasi suatu antena
- ↗ Lobe kecil (minor lobes) adalah pancaran-pancaran kecil selain pancaran utama dari pola radiasi antena
- ↗ Lobe sisi (side lobes) adalah pancaran-pancaran kecil yang dekat dengan pancaran utama dari pola radiasi antena
- ↗ Lobe belakang (back lobe) adalah pancaran yang letaknya berlawanan dengan pancaran utama dari pola radiasi antena

Penjelasan Pola Radiasi

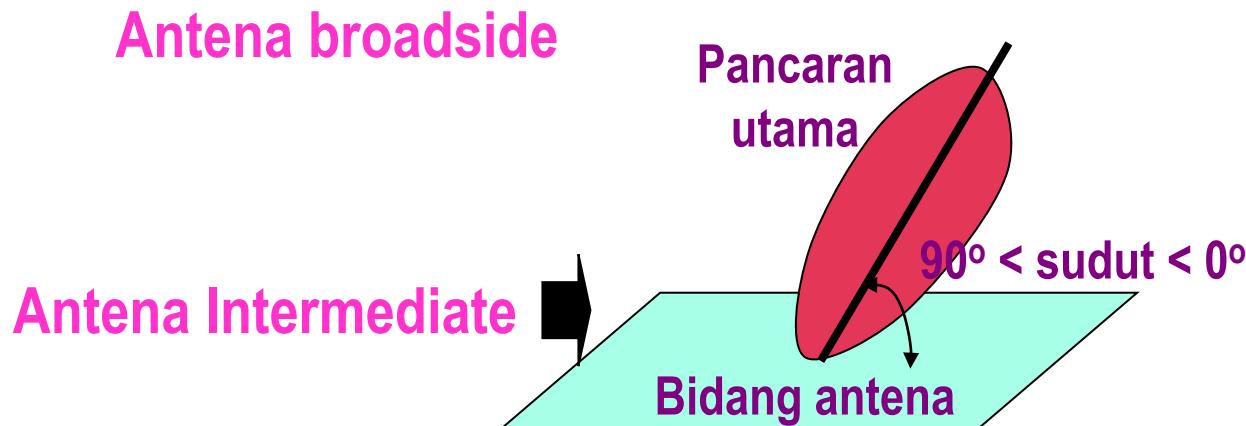
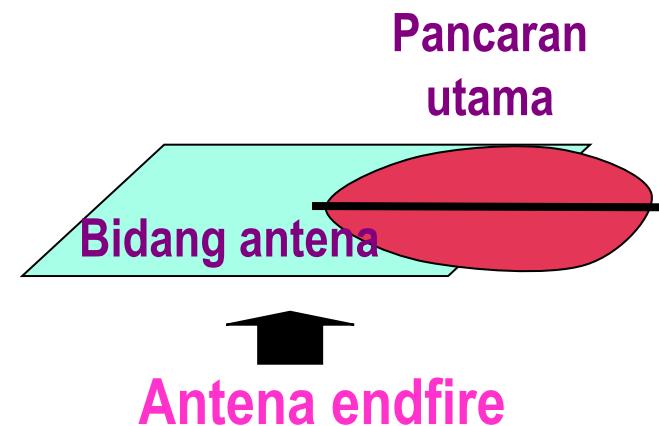
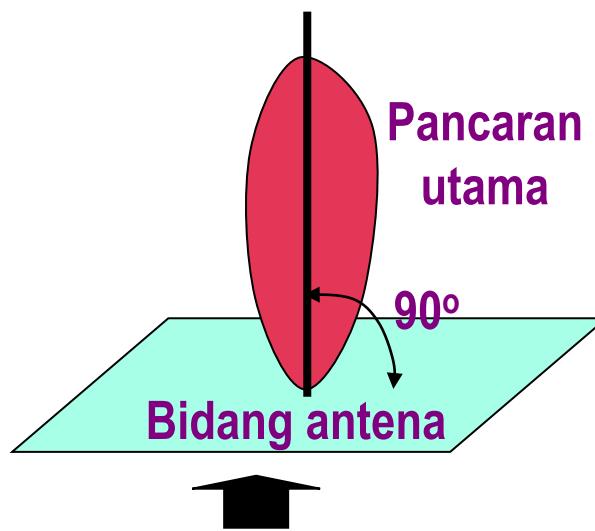
- ↗ Titik setengah daya (Half power point) adalah suatu titik pada pancaran utama yang mempunyai nilai daya separoh dari harga maksimumnya.
- ↗ Half power beam width (HPBW) adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi.
- ↗ Front to back ratio adalah perbandingan antara daya maksimum yang dipancarkan pada lobe utama (main lobe) dan daya pada arah belakangnya
- ↗ Cross polarisation ratio adalah perbandingan antara daya pada saat antena menerima gelombang dengan polarisasi vertikal dan pada saat menerima dengan polarisasi horizontal

Penamaan Pola Radiasi

Penamaan antena berdasarkan pola radiasi:

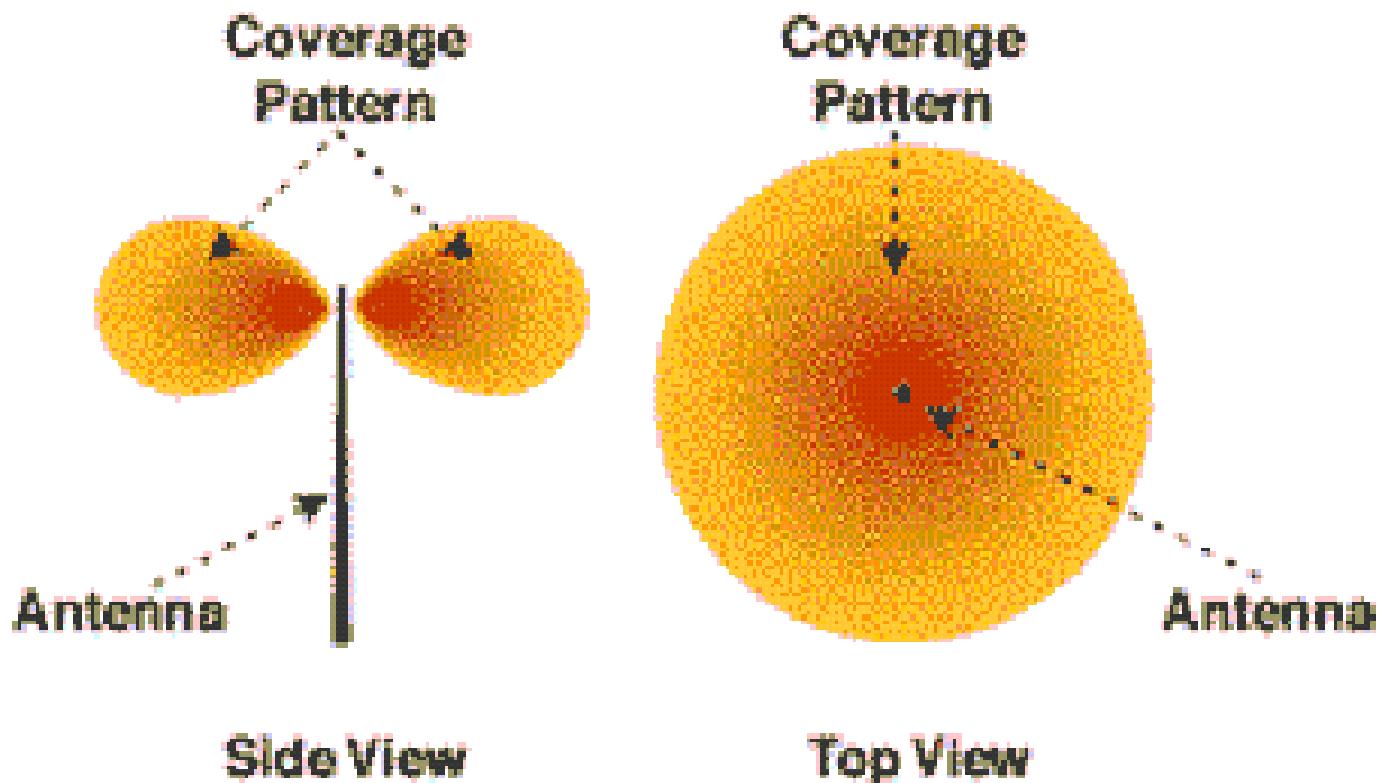
- ↗ **Antena Broadside** = antena yang mempunyai pancaran utama (*main beam*) tegak lurus dengan bidang yang memuat antena
- ↗ **Antena Endfire** = antena yang mempunyai pancaran utama (*main beam*) sejajar dengan bidang yang memuat antena
- ↗ **Antena Intermediate** = antena yang mempunyai pancaran utama (*main beam*) membentuk sudut dengan bidang yang memuat antena

Penamaan Pola Radiasi



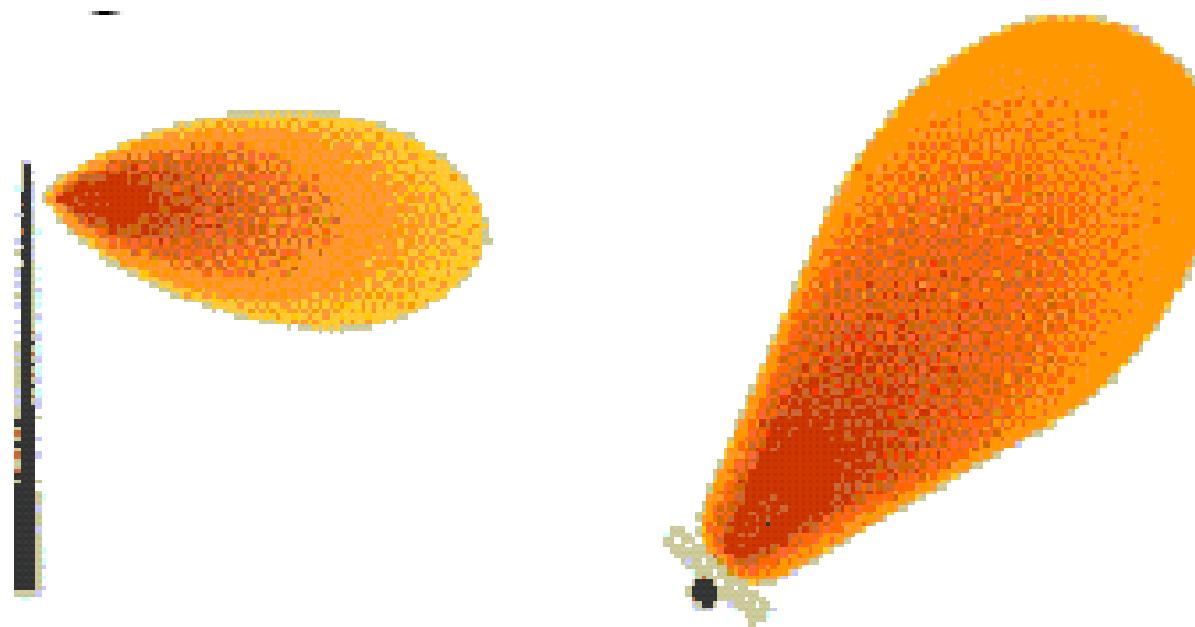
Pola Radiasi

Pola Omni Directional



Pola Radiasi

Pola Directional



Side View

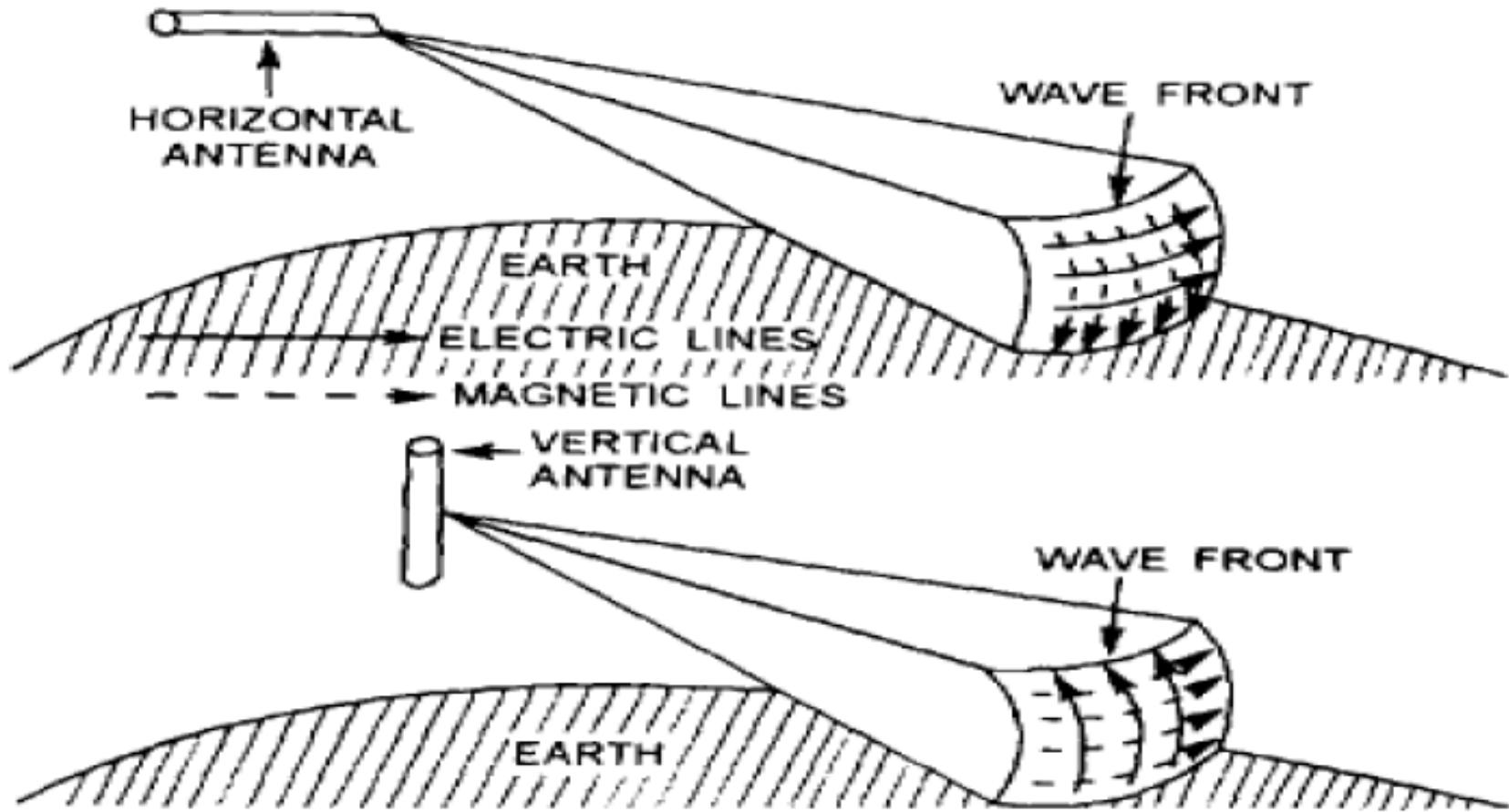
Top View

Polarisasi

Gelombang elektromagnetik yang melaju di udara atau di angkasa luar terdiri atas komponen gaya listrik dan komponen gaya magnet yang tegak lurus satu sama lain.

Gelombang radio yang memancar dapat dikatakan terpolarisasi sesuai arah komponen gaya listriknya.

Polarisasi Horisontal dan vertikal



Bagaimana antena bekerja ?...

Bagaimana antena bekerja ?...

Hukum Gauss..

$$\epsilon \oint \vec{E} \bullet d\vec{S} = \int \rho_v dV = Q$$

Dari hukum diatas dapat diturunkan untuk suatu muatan titik q tertentu,

$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{a}_R$$

Untuk suatu muatan yang berubah terhadap waktu ($q(t)$), maka kita akan dapat menuliskan sebagai berikut :

$$\vec{E}(t) = k \frac{q(t)}{r^2} \vec{a}_R$$

Bagaimana antena bekerja ?...

Definisi arus,

Arus adalah jumlah muatan yang menembus suatu penampang tiap satuan waktu tertentu

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

Atau dalam hal ini, muatan yang berubah terhadap waktu sebanding dan bisa dihasilkan dari arus yang berubah terhadap waktu

$$Q(t) = \int i(t) dt$$

Arus yang mengalir pada antena, adalah arus yang berubah terhadap waktu karena sudah dimodulasi dan merupakan representasi dari informasi

Sehingga,

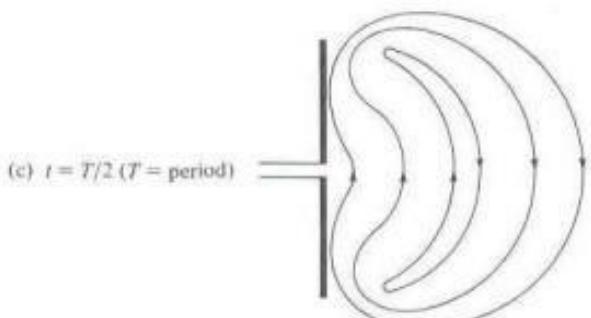
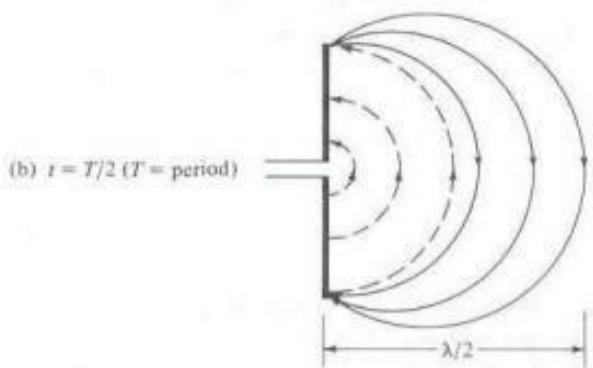
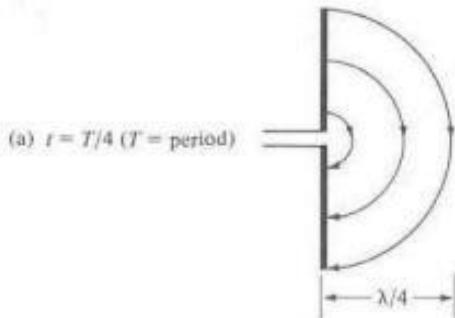
Perubahan medan listrik ditempat jauh akan ‘bersesuaian’ dengan perubahan arus pada antena pengirim, lebih jauh akan ‘bersesuaian’ juga dengan perubahan informasi yang dikirimkan

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

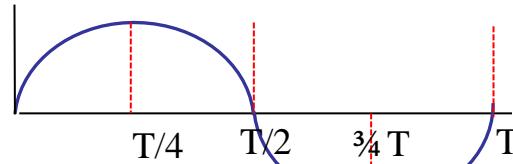


Antena Dipole

Antena Dipole



- Gambar (a) menunjukkan gambar garis gaya medan listrik pada sebuah dipole pada waktu $t = T/4$ (seperempat periода) → garis gaya telah merambat sejauh $\lambda/4$

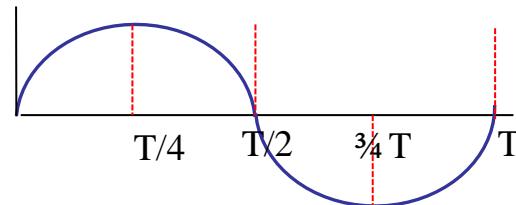


- Gambar (b) menunjukkan gambar garis gaya medan listrik saat $t = T/2$ → garis gaya telah merambat sejauh $\lambda/2$ (pd kondisi tersebut rapat muatan telah berkurang) → pada kondisi tersebut pula, bisa di pahami dengan seolah-olah ada muatan yang berlawanan arah yang pada akhir

$T/2$ tersebut menetralkan seluruh muatan → muatan (yg berlawanan) tersebut membentuk garis gaya medan listrik yang arahnya ditunjukkan garis putus-putus dan merambat sejauh $\lambda/4$

Figure 1.14 Formation and detachment of electric field lines for short dipole.

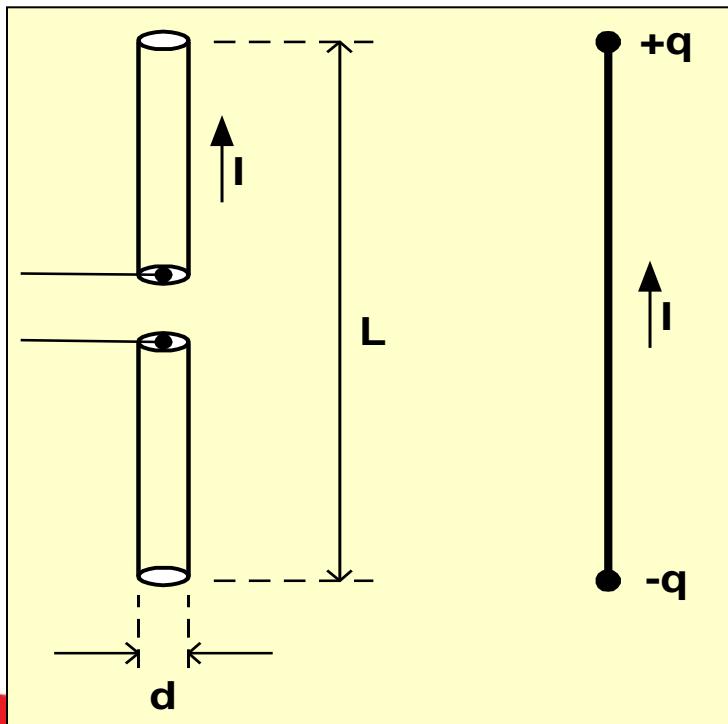
Antena Dipole



- Gambar (c) menunjukkan gambar garis gaya medan listrik total ketika ada garis gaya yang arahnya dari atas ke bawah pada jarak $\lambda/4$ kedua dan garis gaya yang arahnya dari bawah keatas pada jarak $\lambda/4$ pertama → karena ketiadaan muatan pada konduktor pada waktu tersebut, maka garis gaya medan listrik tersebut terpaksa lepas dari konduktor dan membentuk loop tertutup.
- Proses yang sama tetapi dengan arah yang berlawanan akan terjadi pada setengah perioda yang kedua

Dipole Pendek

- Contoh kasus penurunan rumus radiasi gelombang □ Konsep ***Retarded Potentials***
- Analisis untuk suatu dipole pendek, panjang filamen jauh lebih pendek dari panjang gelombang □ distribusi arus uniform

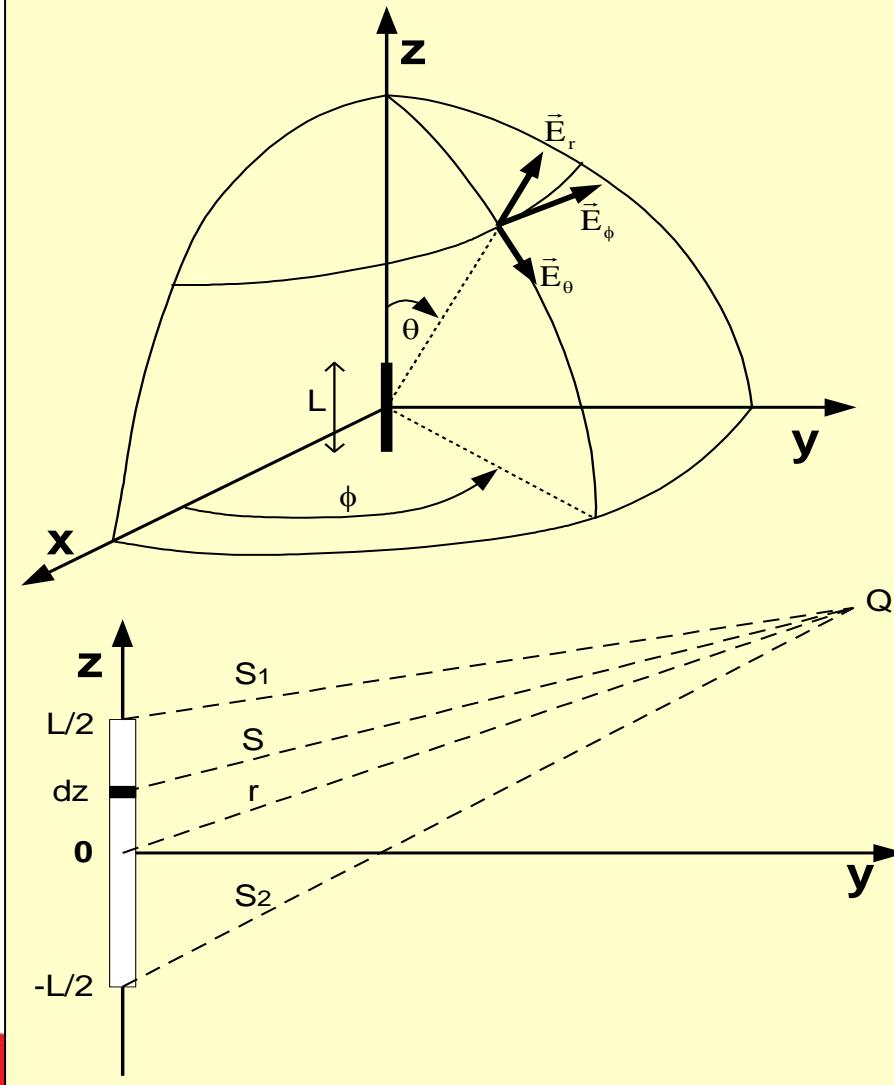


Asumsi dasar :

- $L \ll \lambda \rightarrow L \leq 0,1\lambda$
- $d \ll \lambda \rightarrow d \leq 0,1\lambda$
- Radiasi saluran transmisi diabaikan
- Distribusi arus sepanjang L uniform (dengan *Top Loading*)

Selanjutnya akan dicari konfigurasi persamaan **medan elektromagnetik, Tahanan Pancar**, dan juga **Diagram Arah**

Dipole Pendek



Pada dipole mengalir arus I , dimana :

$$I = I_o e^{j\omega t}$$

Pada titik Q yang jauh, arus tersebut akan ‘dirasakan’ terlambat sebesar S/c (jarak dibagi kecepatan = dimensi waktu), sebagai berikut :

$$[I] = I_o e^{j\omega(t - S/c)}$$

demikian juga perubahan muatan yang ‘dirasakan’ :

$$[q] = q_o e^{j\omega(t - S/c)}$$

dan rapat muatan yang ‘dirasakan’ :

$$[\rho] = \rho_o e^{j\omega(t - S/c)}$$

Dipole Pendek

Catatan Kunci :

Untuk titik Q di tempat jauh, terlebih dahulu dicari vektor potensial magnetik \vec{A} , dan potensial listrik skalar V, untuk kemudian dihitung \vec{E} dan \vec{H} dari persamaan :

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

dan

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{A})$$

Sedangkan,

$$\vec{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{[I]}{S} d\vec{z} = \frac{\mu I_0 L}{4\pi r} e^{jw(t - r/c)} \vec{a}_z$$

dan

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{[\rho]}{r} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(\frac{[q]_{S_1}}{S_1} - \frac{[q]_{S_2}}{S_2} \right)$$

dimana,

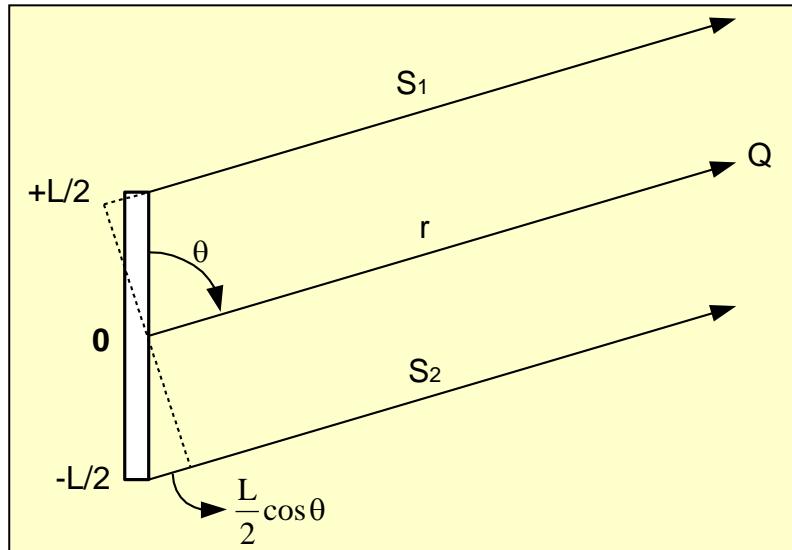
$$[q]_{S_1} = \int [I]_{S_1} dt = \frac{1}{j\omega} I_0 e^{jw(t - S_1/c)}$$

dan

$$[q]_{S_2} = \int [I]_{S_2} dt = \frac{1}{j\omega} I_0 e^{jw(t - S_2/c)}$$

Dipole Pendek

Untuk titik observasi Q yang jauh dan $L \ll r$



Dapat kita tuliskan :

$$S_1 = r - \frac{L}{2} \cos \theta \quad \text{dan} \quad S_2 = r + \frac{L}{2} \cos \theta$$

Sehingga potensial listrik skalar,

$$V = \frac{I_0}{4\pi\epsilon_0 j\omega} \left[\frac{e^{j\omega(t-S_1/c)}}{S_1} - \frac{e^{j\omega(t-S_2/c)}}{S_2} \right]$$

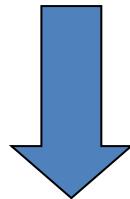
Dari penyelesaian matematis dan berbagai pendekatan menyebabkan potensial listrik skalar dapat dituliskan :

$$V = \frac{I_0 L \cos \theta \cdot e^{j\omega(t-r/c)}}{2\pi\epsilon_0 c} \left[\frac{1}{r} - \frac{c}{j\omega r^2} \right]$$

Dipole Pendek

Vektor potensial magnetik, hanya berarah sumbu z

$$\vec{A} = A_z \vec{a}_z \text{ dengan } A_x = 0 \text{ dan } A_y = 0$$

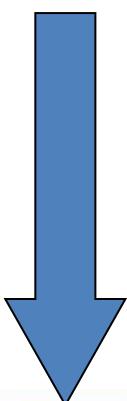


Jika diubah dalam
koordinat bola

$$\vec{A} = A_z \cos \theta \cdot \vec{a}_r - A_z \sin \theta \cdot \vec{a}_\theta$$

dan,

$$V = \frac{I_0 L \cos \theta \cdot e^{j\omega(t-r/c)}}{2\pi\epsilon c} \left[\frac{1}{r} - \frac{c}{j\omega r^2} \right]$$



Kembali lagi ke rumus

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

Dan dengan mengambil definisi gradien untuk koordinat bola

$$\vec{\nabla} V = \frac{\partial V}{\partial r} \vec{a}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \vec{a}_\theta + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \phi} \vec{a}_\phi$$

Maka.....

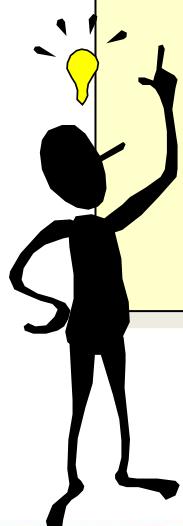
Dipole Pendek

Didapat persamaan umum medan listrik, E :

$$E_r = \frac{I_0 L \cos \theta}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$E_\theta = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi\epsilon} \left[\frac{j\omega}{c^2 r} + \frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$E_\phi = 0$$



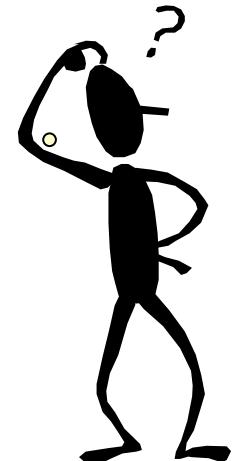
Dipole Pendek

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{A})$$

Bagaimana dengan medan magnet, \mathbf{H} ?

Dengan memakai definisi kurl untuk koordinat bola,

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{A} &= \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[\frac{\partial(r \sin \theta) A_\phi}{\partial \theta} - \frac{\partial(r A_\theta)}{\partial \phi} \right] \vec{a}_r \\ &\quad + \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial A_r}{\partial \phi} - \frac{\partial(r \sin \theta) A_\phi}{\partial r} \right] \vec{a}_\theta \\ &\quad + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r A_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial \theta} \right] \vec{a}_\phi\end{aligned}$$



Sedangkan,

$$\vec{A} = A_z \cos \theta \vec{a}_r - A_z \sin \theta \vec{a}_\theta$$

Dipole Pendek

Didapat persamaan medan magnet, H :



$$H_\phi = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi} \left[\frac{j\omega}{cr} + \frac{1}{r^2} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$H_r = H_\theta = 0$$

Kesimpulan sementara ...

- Distribusi arus **mempengaruhi secara langsung** persamaan medan yang dihasilkan
- Distribusi arus uniform pada filamen pendek disebabkan karena panjang antena jauh lebih pendek dari panjang gelombang

Dipole Pendek

Perhatikan lagi persamaan yang sudah didapatkan dari perhitungan untuk dipole pendek

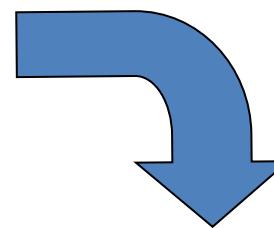
Distribusi Medan Dekat

$$E_r = \frac{I_0 L \cos \theta}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$E_\theta = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi\epsilon} \left[\frac{j\omega}{c^2 r} + \frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$H_\phi = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi} \left[\frac{j\omega}{cr} + \frac{1}{r^2} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

Untuk medan jauh, medan listrik dan medan magnet akan SEFASA dan keduanya berbanding lurus dengan $\sin \theta$, dan bukan merupakan fungsi dari ϕ .



Syarat medan jauh
 $r \gg$

$$E_\theta = \frac{j\omega I_0 L \sin \theta}{4\pi\epsilon c^2 r} \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$H_\phi = \frac{j\omega I_0 L \sin \theta}{4\pi c r} \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$

Dipole Pendek

Medan Dekat

Pada medan dekat, ada komponen E_r dan juga E_θ yang berbeda fasa dan arah. Juga E_r berbeda fasa 90° terhadap H_ϕ , dan ini adalah sifat dari resonator atau rangkaian resonansi

Untuk $r \gg$ tetapi $\omega \rightarrow 0$: Frekuensi Rendah

→ Disebut juga sebagai kondisi **QUASI STASIONER**

$$[I] = I_o e^{jw(t-S/c)}$$

$$[q] = \int [I] dt$$

$$E_r = \frac{[q]L \cos \theta}{2\pi\epsilon r^3}$$

$$E_\theta = \frac{[q]L \sin \theta}{4\pi\epsilon r^3}$$

$$H_\phi = \frac{I_o L \sin \theta}{4\pi r^2}$$

Dipole Pendek

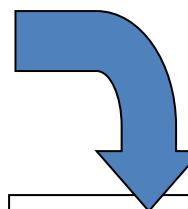
Diagram arah digunakan untuk melukiskan pola pancar dari antena. **Diagram arah medan** dapat dilihat dari persamaan medan yang dimaksud

Lihat lagi persamaan medan untuk dipole pendek !!

$$E_r = \frac{I_0 L \cos \theta}{2\pi\epsilon} \left[\frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$E_\theta = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi\epsilon} \left[\frac{j\omega}{c^2 r} + \frac{1}{cr^2} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$H_\phi = \frac{I_0 L \sin \theta}{4\pi} \left[\frac{j\omega}{cr} + \frac{1}{r^2} \right] e^{j\omega(t - r/c)}$$



Untuk jarak r tertentu, persamaan disamping dapat dituliskan sbb ;

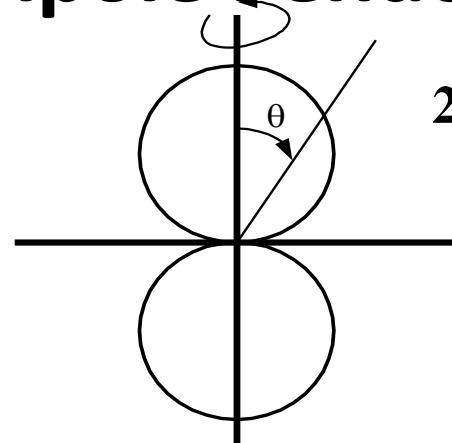
$$E_r = K_1 \cos \theta \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$E_\theta = K_2 \sin \theta \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$

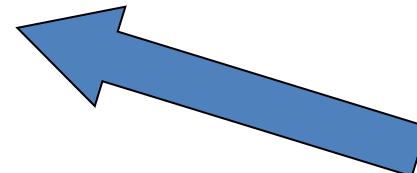
$$H_\phi = K_3 \sin \theta \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$

$$|\vec{P}| \text{ atau } U = K_4 \sin^2 \theta \cdot e^{j2\omega(t - r/c)}$$

Dipole Pendek



2 bola bertumpuk



Donat

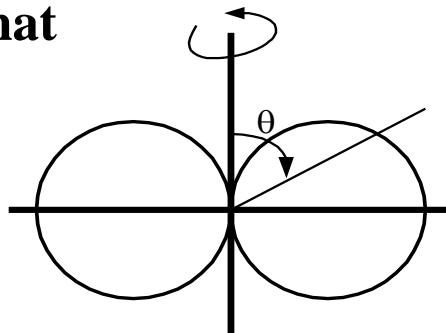
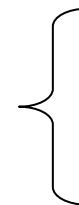


Diagram arah
medan



Donat gepeng

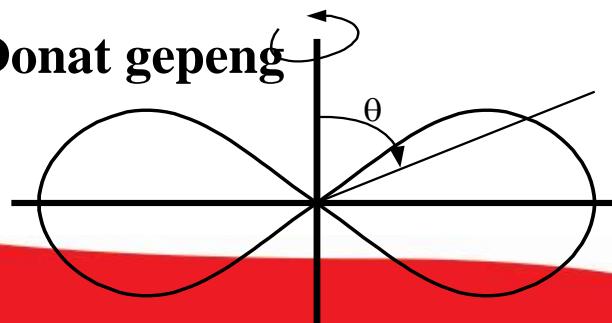


Diagram arah
daya

$$E_r = K_1 \cos \theta \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

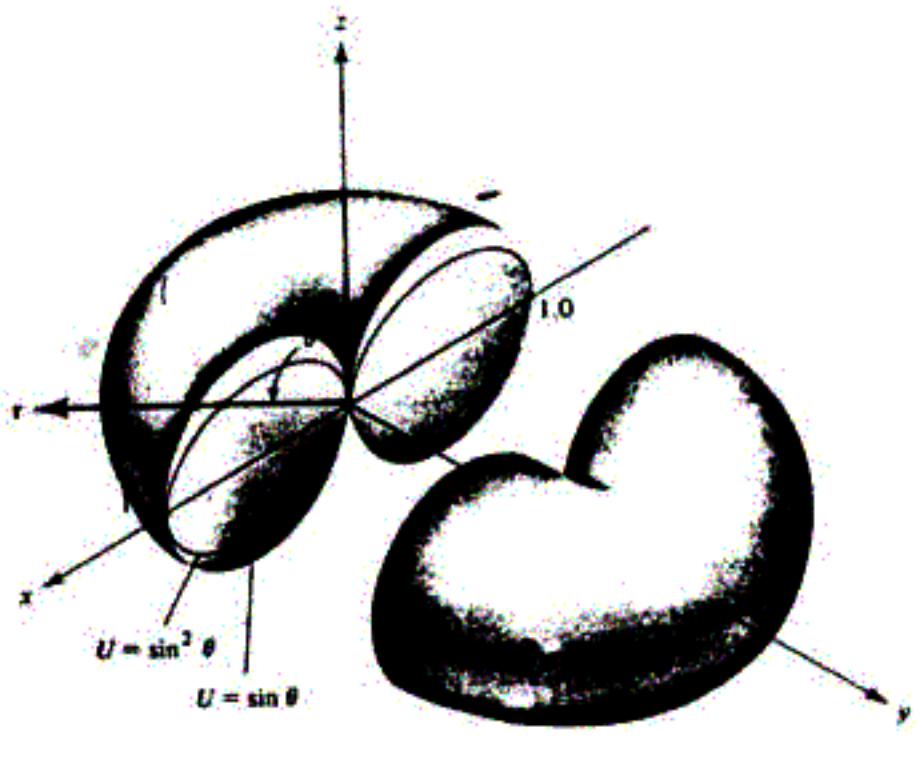
$$E_\theta = K_2 \sin \theta \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

$$H_\phi = K_3 \sin \theta \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

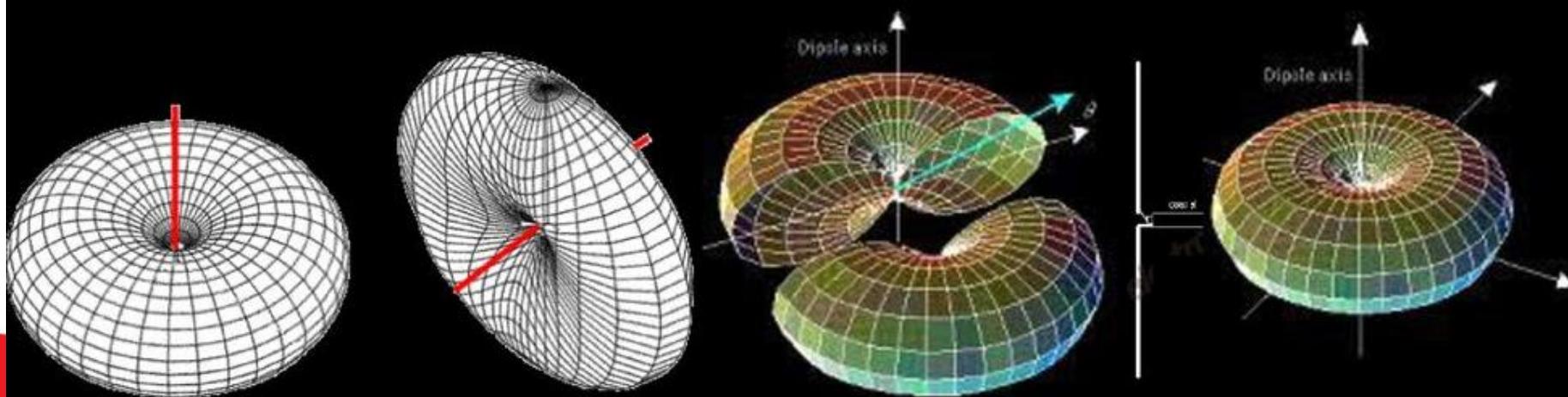
$$\vec{P} = K_4 \sin^2 \theta \cdot e^{j2\omega(t-r/c)}$$

$$|\vec{P}| \text{ atau } U = K_4 \sin^2 \theta$$

Dipole Pendek



- Pola radiasi :



Konsep Tahaman Pancar

Definisi

➤ Tahanan pancar adalah tahanan yang mewakili daya pancar antena

- *Definisi tersebut dapat dipahami dengan memandang bahwa antena seolah olah adalah beban dengan impedansi tertentu, sedangkan daya pancar dalam hal ini adalah daya yang didisipasikan efektif pada beban tersebut*
- **Konsep tahanan pancar selalu ditinjau pada medan jauh**, hal ini disebabkan karena medan jauh mewakili daya yang diradiasikan sedangkan medan dekat tidak diperhitungkan karena sifatnya yang kapasitif. atau mewakili daya yang tersimpan

Penurunan rumus tahanan pancar,

Dari 2 buah persamaan medan listrik dan magnet dipole pendek untuk **medan jauh**

$$E_\theta = \frac{j\omega I_0 L \sin \theta}{4\pi\epsilon c^2 r} \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

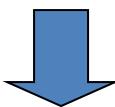
$$H_\phi = \frac{j\omega I_0 L \sin \theta}{4\pi c r} \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

$$P_r \hat{a}_r = E_\theta \hat{a}_\theta \times H_\phi \hat{a}_\phi$$

Konsep vektor poynting

Konsep Tahanan Pancar

$$H_\phi = \frac{j\omega I_0 L \sin \theta}{4\pi c r} \cdot e^{j\omega(t - r/c)}$$



$$H_\phi = \frac{I_0 L \sin \theta}{2\lambda r} \sin(\omega t - \beta r)$$



$$P_r \hat{a}_r = E_\theta \hat{a}_\theta \times H_\phi \hat{a}_\phi = \eta |H_\phi|^2 \hat{a}_r$$

Maka,

$$P_r \hat{a}_r = \eta |H_\phi|^2 = \left[\frac{I_o L}{2\lambda r} \right]^2 \eta \cdot \sin^2 \theta \cdot \sin^2(\omega t - \beta r) \hat{a}_r$$

Tool

Mengubah dari bentuk fasor ke bentuk waktu,

$$E(t) = \text{Re} [(E_{\text{fasor}}) e^{j\omega t}]$$

dimana,

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t$$

Konsep Tahanan Pancar

Daya total sesaat yang menembus permukaan bola dengan jari-jari r_o , dinyatakan sbb :

$$W_T = \int_S \vec{P} \Big|_{r=r_o} \bullet d\vec{S}$$

$$= \left\{ \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \left[\frac{I_o L}{2\lambda r_0} \right]^2 \eta \sin^2 \theta \sin^2(\omega t - \beta r_0) \right\} \hat{a}_r \bullet \{r_0^2 \sin \theta d\theta d\phi\} \hat{a}_r$$

$$= \left[\frac{I_o L}{\lambda} \right]^2 \eta \frac{2\pi}{3} \sin^2(\omega t - \beta r_0)$$

Daya rata-rata dinyatakan :

$$W_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{I_o L}{\lambda} \right]^2 \eta \frac{2\pi}{3} \sin^2(\omega t - \beta r_0) dt$$

Konsep Tahanan Pancar

Jadi....

$$W_{av} = 40\pi^2 \left[\frac{I_0 L}{\lambda} \right]^2 = \frac{1}{2} I_0^2 \cdot R_{rad}$$

Sehingga ,

$$R_{rad} = \frac{2W_{av}}{I_0^2} = 80\pi^2 \left[\frac{L}{\lambda} \right]^2$$

Ingat asumsi-asumsi semula,
persamaan ini berlaku untuk
Distribusi arus uniform

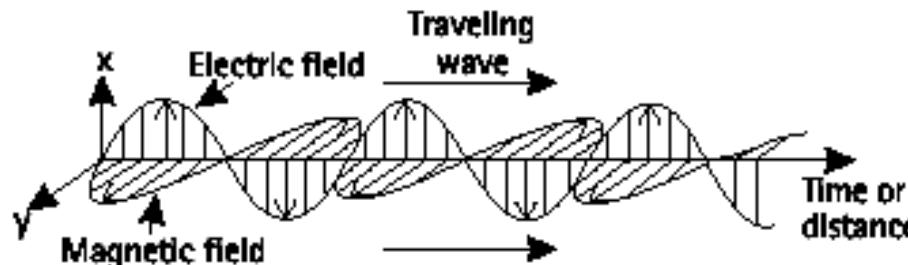


Berbagai Terminologi

Berbagai Terminologi

Saluran transmisi

- Adalah media fisik untuk membimbing energi gelombang elektromagnetik dari suatu titik ke titik lain.

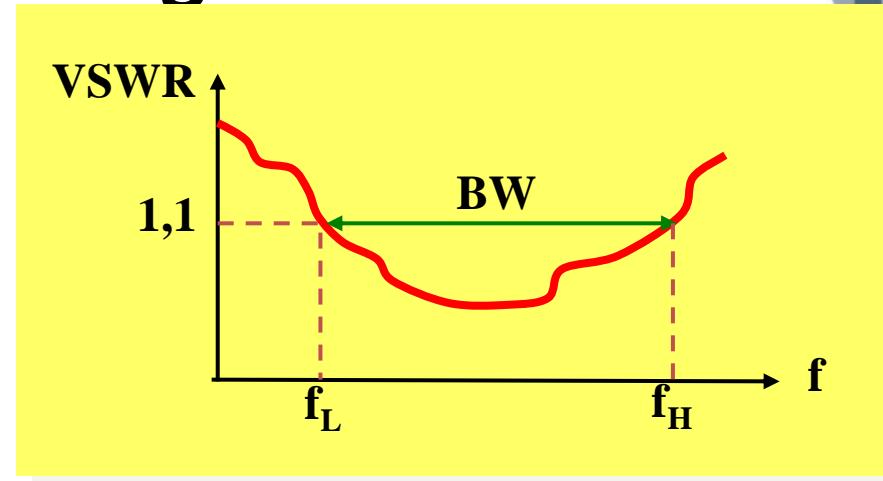


- Syarat yang harus dipenuhi saluran transmisi adalah :
 - tidak menyebar, gelombang mengikuti saluran transmisi (satu dimensi)
 - redaman minimum (rugi-rugi panas kecil, rugi-rugi pancaran kecil)
- Bandwidth saluran transmisi adalah daerah frekuensi kerja saluran transmisi untuk range SWR tertentu.

- Jenis / macam saluran transmisi
- Transformasi impedansi

Dalam kaitannya dengan transformasi impedansi, kita masih ingat bahwa matching dengan stub ganda akan memberikan bandwidth yang lebih besar daripada matching dengan stub tunggal.

Berbagai Terminologi

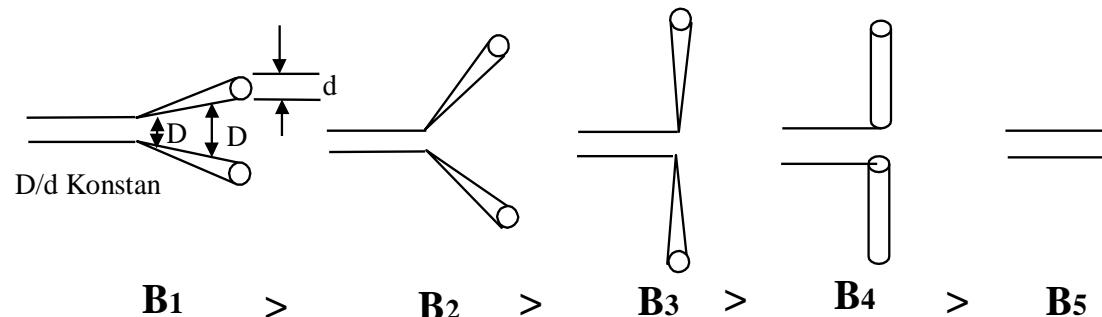


Bandwidth Antena

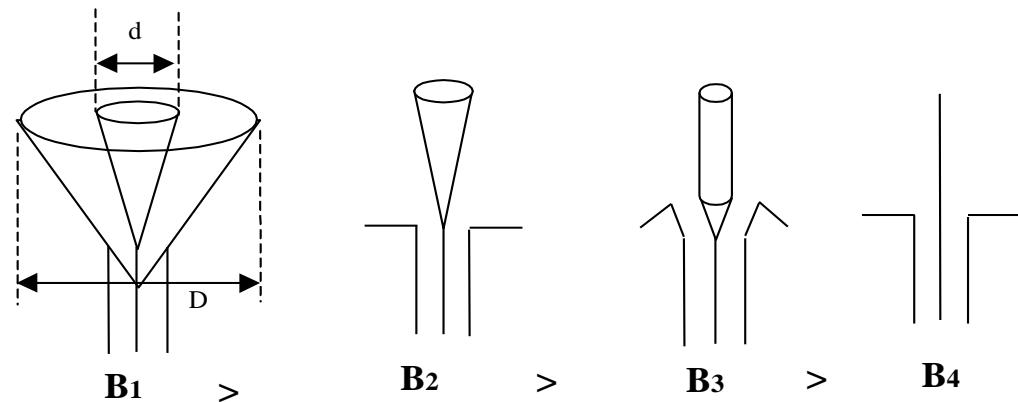
- Seperti pada saltraan, bandwidth antena dipengaruhi oleh bentuk fisik dan juga oleh transformasi impedansi.
- Bandwidth antena didefinisikan sebagai daerah frekuensi kerja antena untuk range SWR tertentu (1,1 ; 1,2 ; 1,35 ; atau 1,5)
- Keterpengaruan antena pada bentuk fisiknya dapat dilihat pada gambar berikut :

Berbagai Terminologi

Antena seimbang pada balans



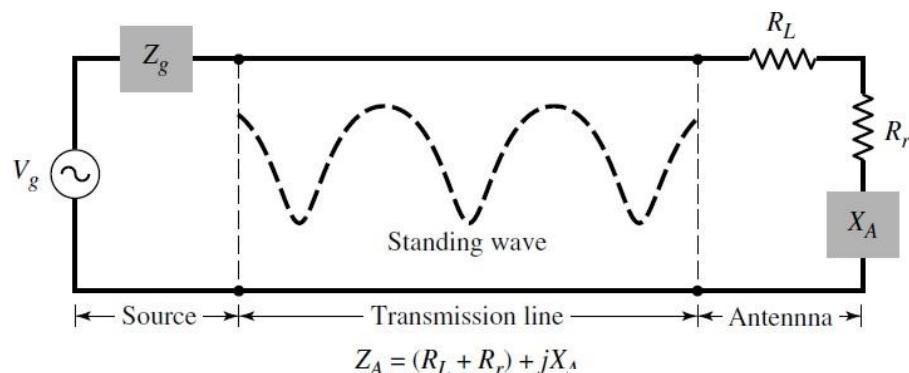
Antena tak seimbang pada unbalans



Berbagai Terminologi

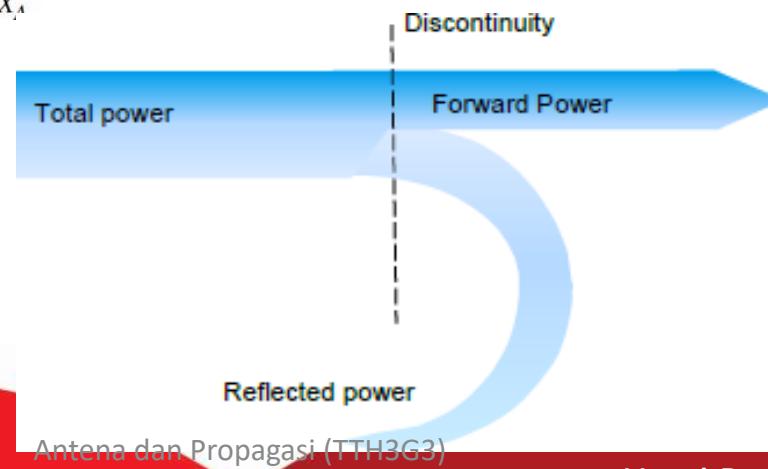
VSWR

VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan tidak matching-nya impedansi input antena dengan saluran feeder.



$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma(z)|}{1-|\Gamma(z)|}$$

Dimana $\Gamma(z)$ adalah koefisien pantul



Berbagai Terminologi

- Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

$$s = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{|V_{forw}| + |V_{refl}|}{|V_{forw}| - |V_{refl}|} = \frac{\sqrt{P_{forw}} + \sqrt{P_{refl}}}{\sqrt{P_{forw}} - \sqrt{P_{refl}}}$$

- Koefisien pantul

$$r = \frac{V_{refl}}{V_{forw}}$$

- Return Loss

$$s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$$

s = VSWR

r = koefisien pantul

a_r = return loss

$$a_r = -20 \log|r| = -20 \log\left(\frac{V_{refl}}{V_{forw}}\right) = -10 \log\left(\frac{P_{refl}}{P_{forw}}\right)$$

Berbagai Terminologi

VSWR

Harga SWR:	Prosentasi daya ke antena:	Komentar:
1,0	100 %	Istimewa
1,2	99 %	Sangat baik
1,5	96 %	Baik
2,0	89 %	Harus diperbaiki
2,5	82 %	Segera diperbaiki
3,0	75 %	Buruk, berbahaya

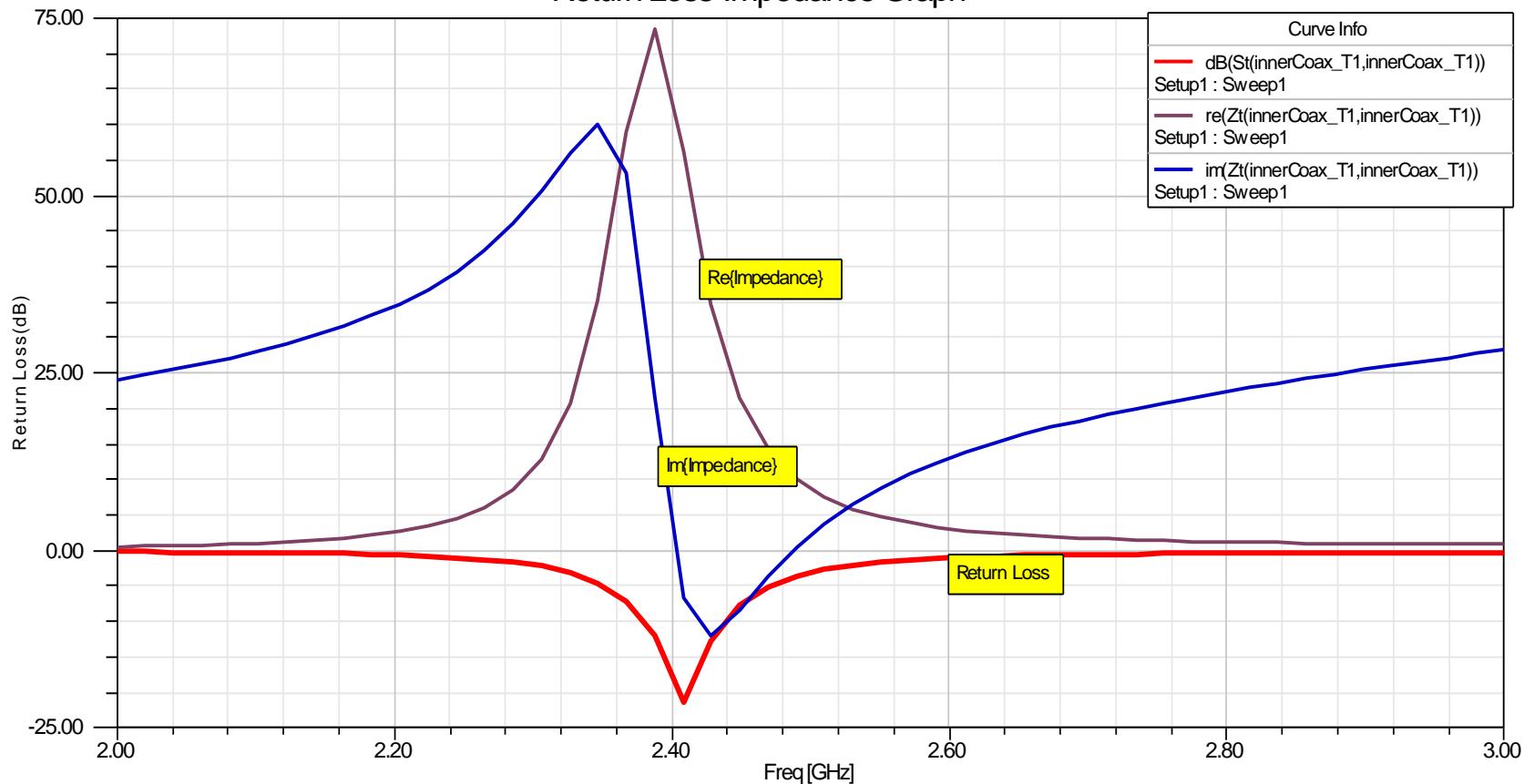
Berbagai Terminologi

Return Loss

Ansoft LLC

Return Loss-Impedance Graph

design



Berbagai Terminologi

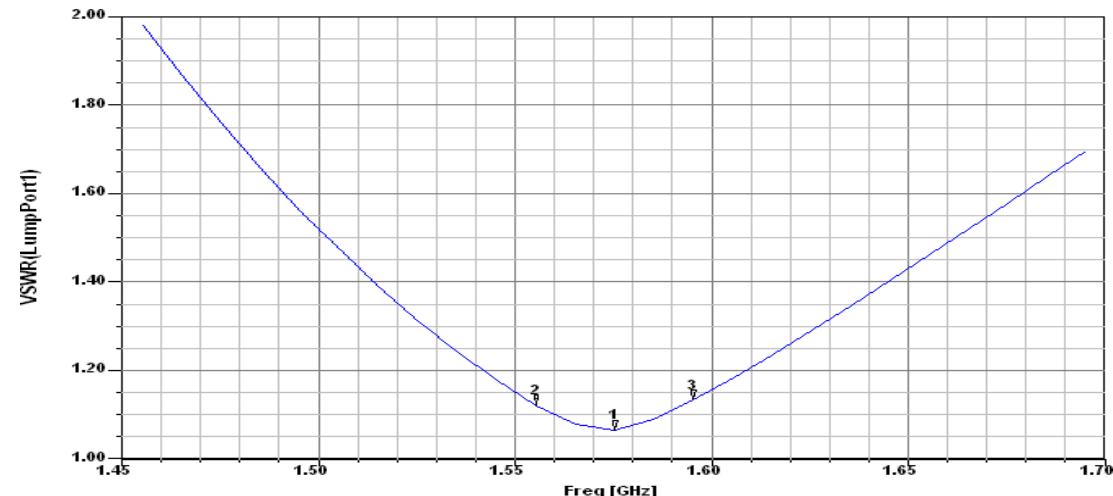
IMPEDANCE BANDWIDTH adalah rentang frekuensi antara frekuensi bawah dengan frekuensi atas pada suatu gelombang termodulasi yang dibatasi oleh VSWR atau Return Loss tertentu.

- Bandwidth antena
- Absolute Bandwidth

$$ABW = F_H - F_L$$

$$FBW = \frac{F_H - F_L}{\left(F_H + F_L \right) / 2} \times 100\%$$

$$FBW = \frac{F_H}{F_L} : 1$$

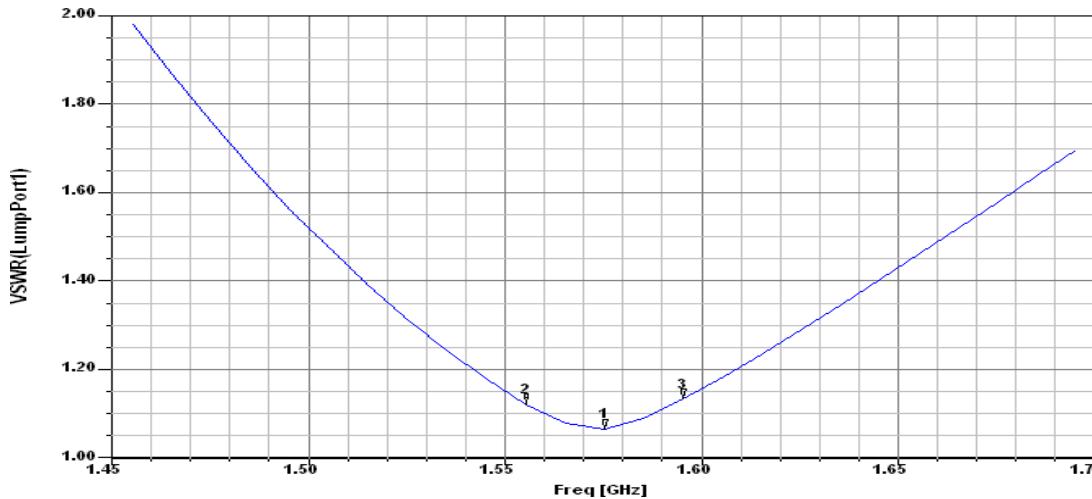


Untuk Bandwidth $\leq 100\%$

Untuk Bandwidth $\geq 100\%$

Berbagai Terminologi

Bandwidth antena



$$BW \text{ (in \%)} = \left(\frac{f_H - f_L}{f_c} \right) \cdot 100$$

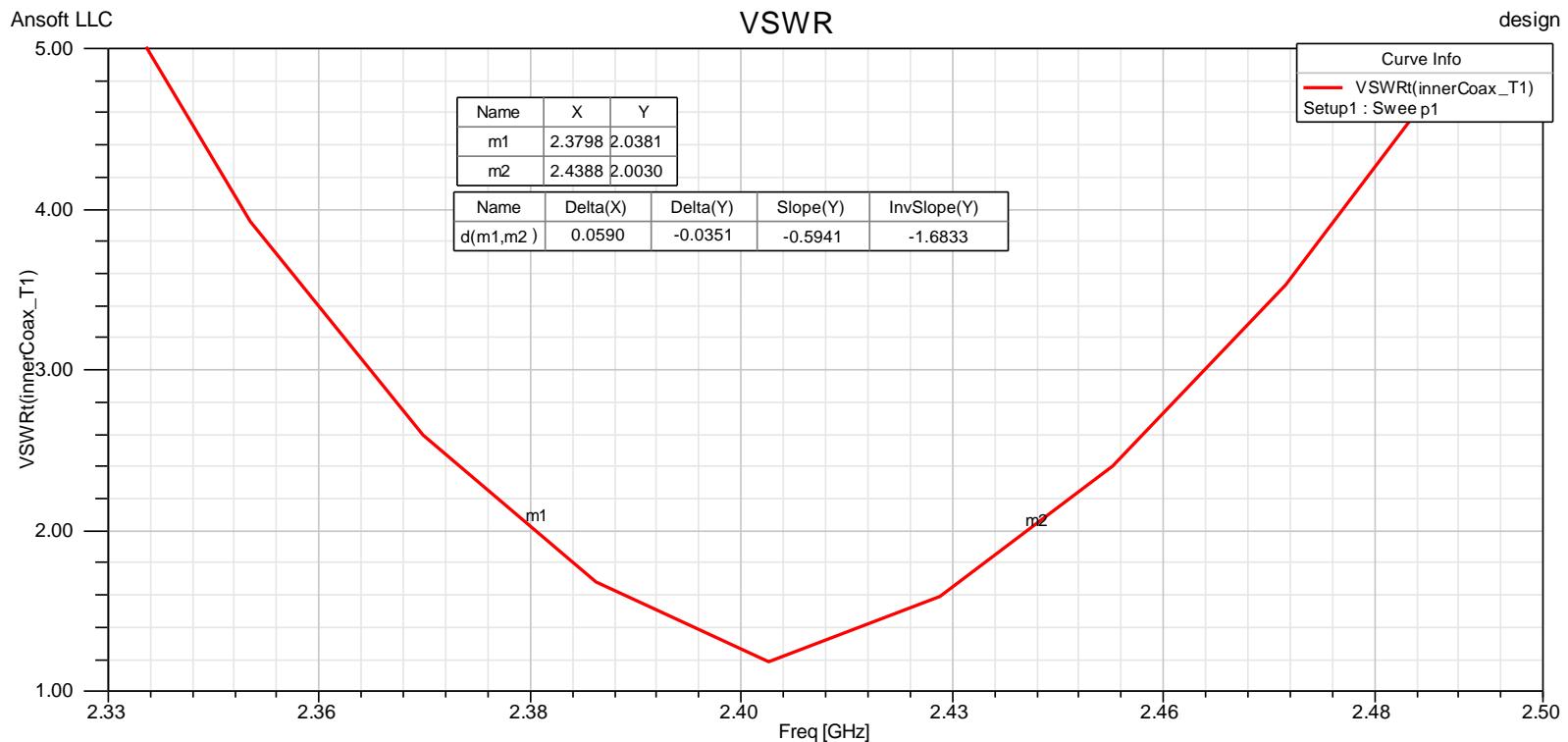
BW = Bandwidth

f_c = Pusat frekuensi (VSWR paling rendah)

f_H = Batas frekuensi atas (VSWR ≈ 2 , $a_r \approx -10\text{dB}$)

f_L = Batas frekuensi bawah (VSWR ≈ 2 , $a_r \approx -10\text{dB}$)

Berbagai Terminologi Bandwidth antena

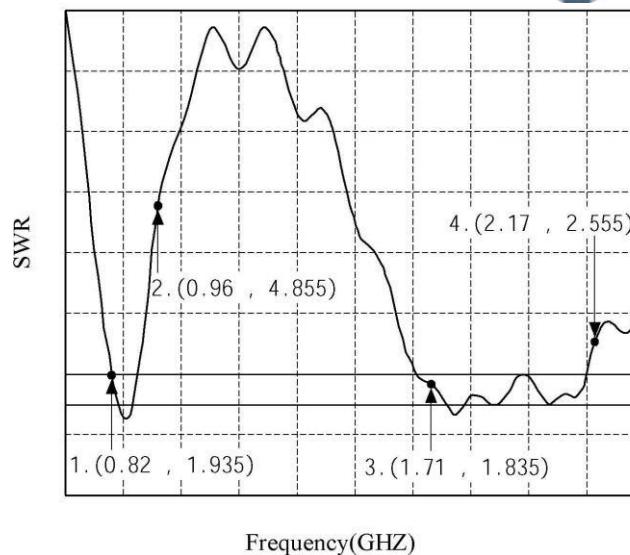


$$ABW(\text{Absolute Bandwidth}) = F_H - F_L = 0,059 \text{ GHz} = 59 \text{ MHz}$$

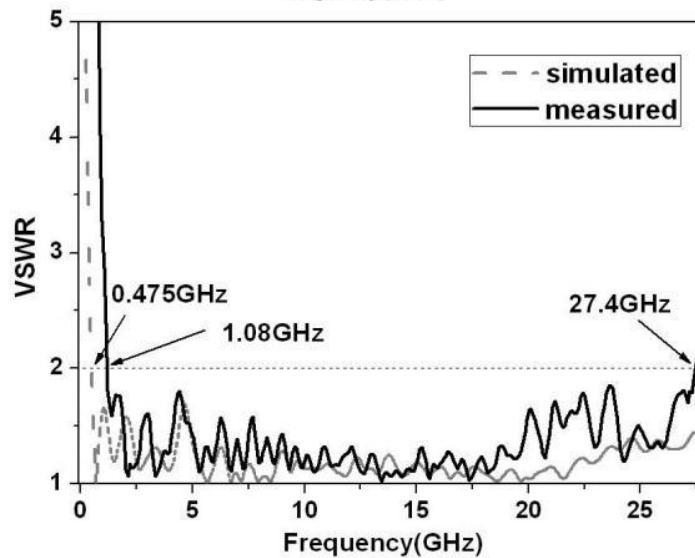
$$FBW = \frac{F_H - F_L}{\left(\frac{F_H + F_L}{2} \right)} \times 100\% = \frac{2,4388 - 2,3798}{\left(\frac{2,4388 + 2,3798}{2} \right)} \times 100\% = 2,5\%$$

Berbagai Terminologi Bandwidth antena

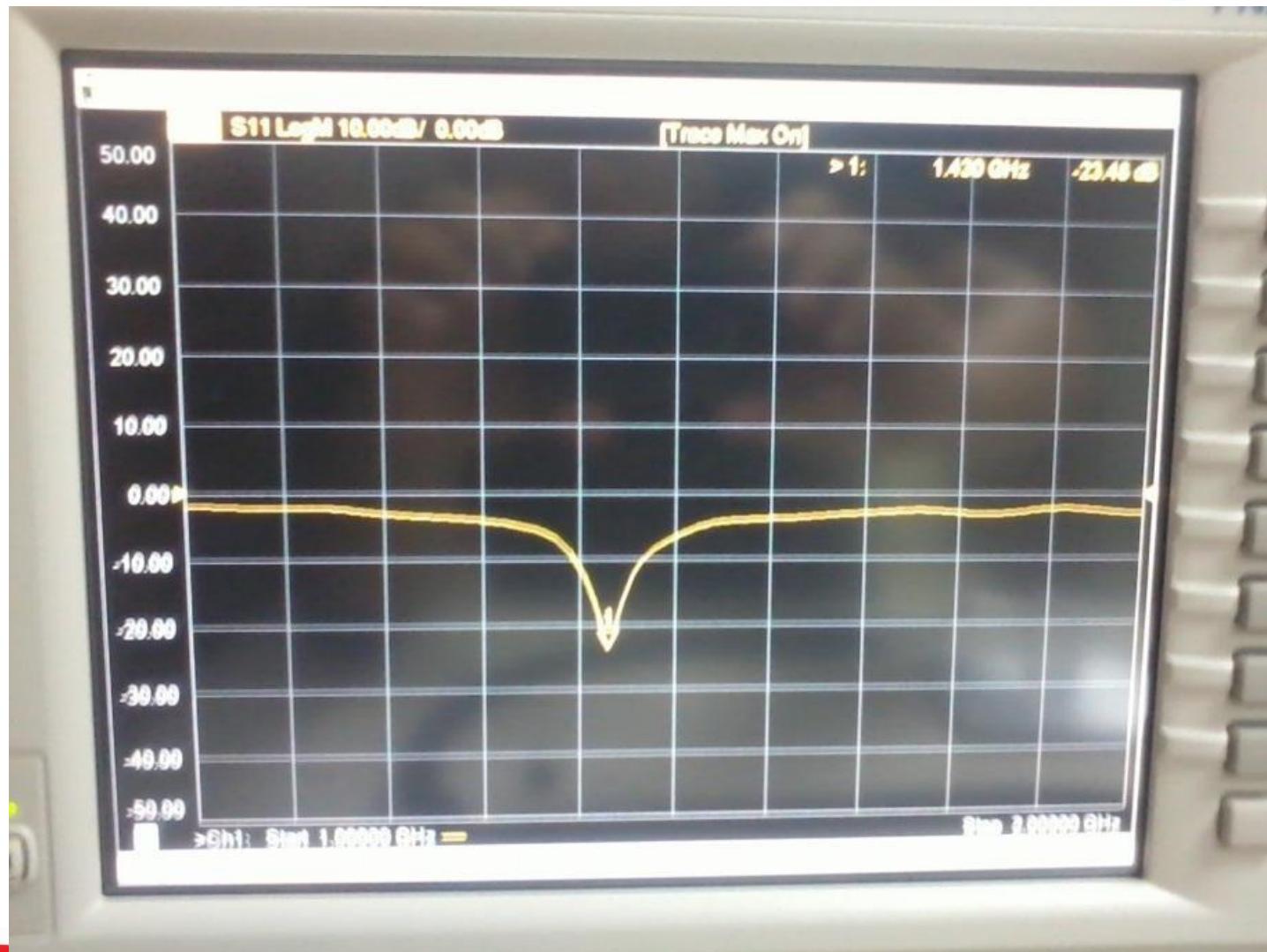
Multi Band
Antenna



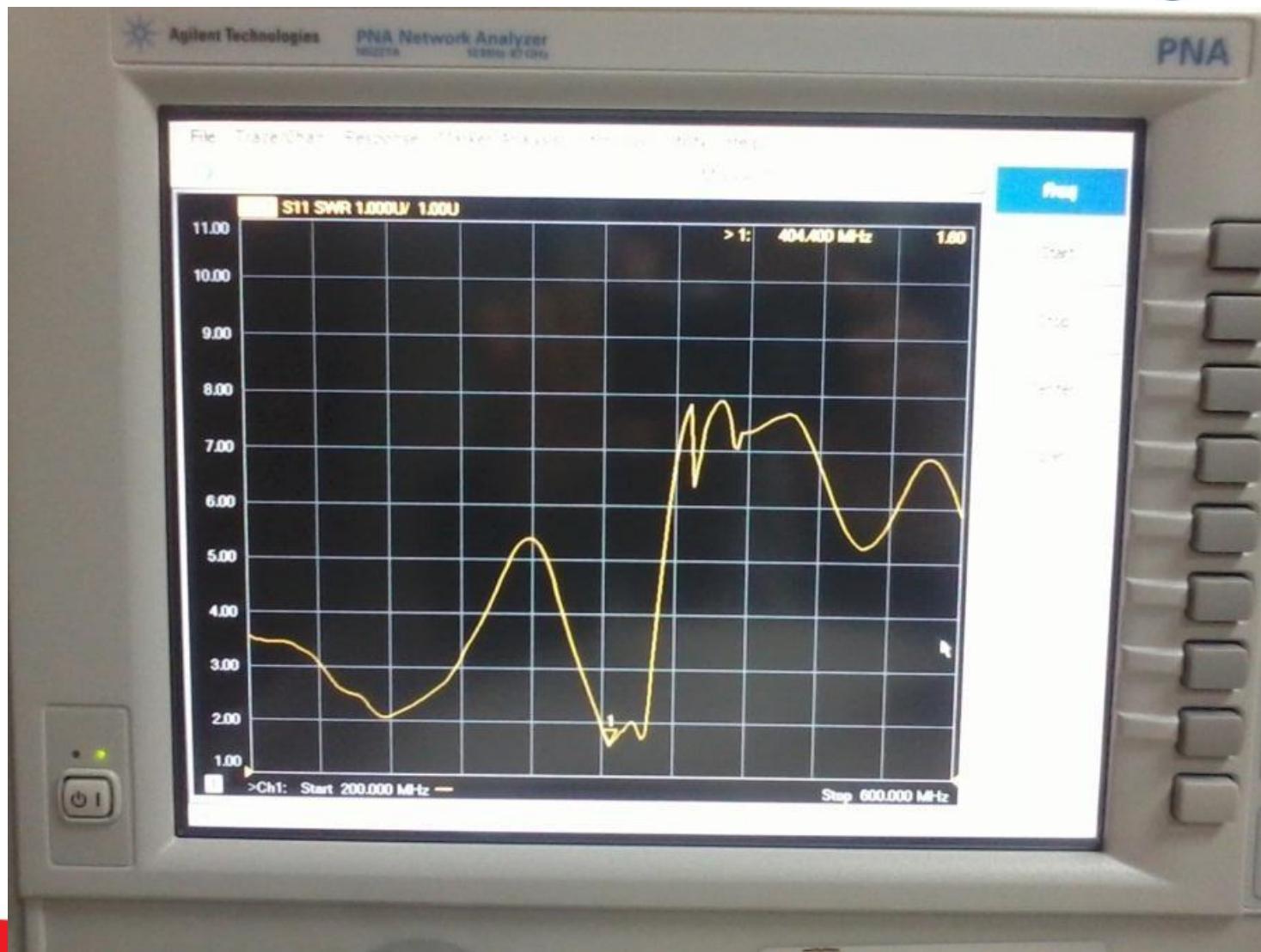
Ultra Wide Band
Antenna



Berbagai Terminologi



Berbagai Terminologi Bandwidth antena



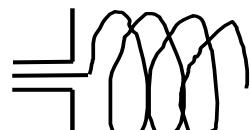
Jenis-Jenis Antena

Jenis-Jenis Antena

- **Antena kawat**



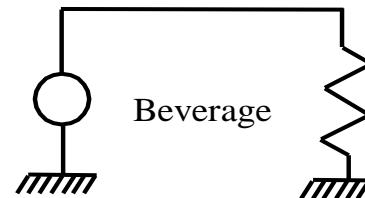
Dipole



Helix



Loop

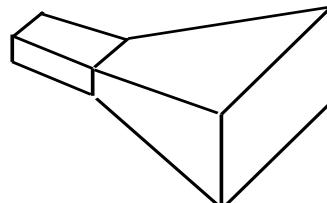


Beverage

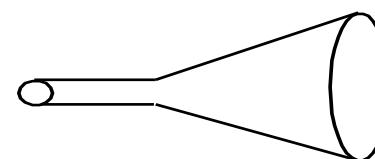


whip

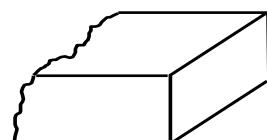
- **Antena aperture (permukaan)**



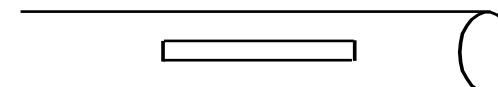
Corong Piramid



Corong Kerucut



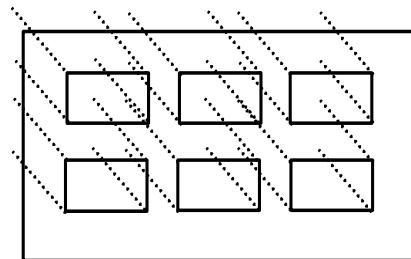
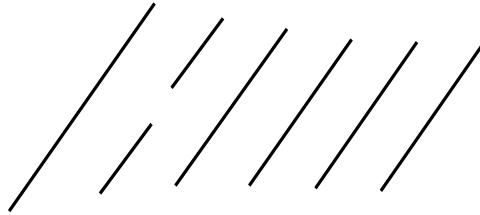
Bumbung Gelombang
Terbuka



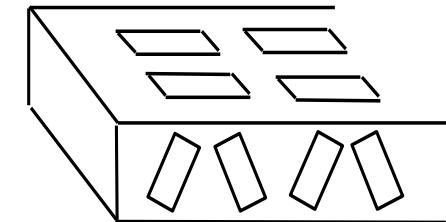
Celah pada dinding tabung

Jenis-Jenis Antena

- **Antena Susunan**

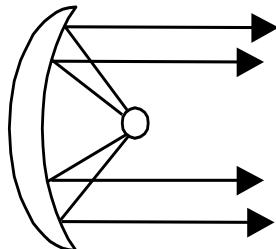


Susunan Wave Guide

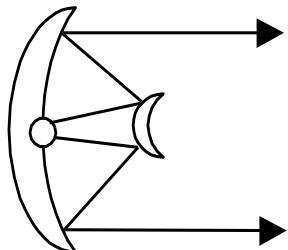


Susunan Celah

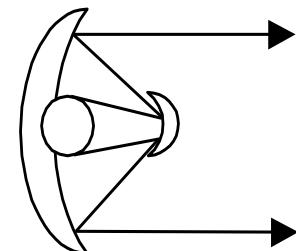
- **Antena aperture (permukaan)**



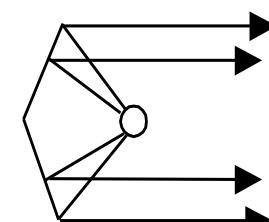
Front Feed



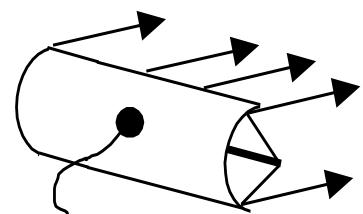
Cassegrain Feed



Gregorian Feed



Corner Reflektor



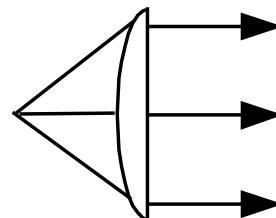
Paraboloidal Reflektor

Jenis-Jenis Antena

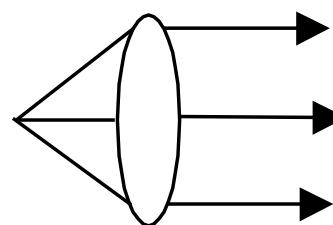
• Antena Lensa

Antena lensa bukanlah terbuat dari kaca, melainkan terbuat dari bahan dengan permitivitas relatif dan bentuk tertentu, sedemikian memiliki sifat pembiasan gelombang EM yang mirip dengan apa yang dilakukan lensa kaca terhadap gelombang cahaya

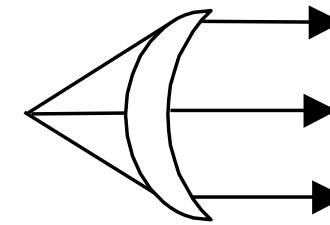
$$n > 1$$



Cembung Datar

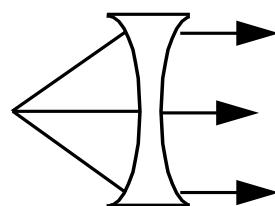


Cembung Cembung

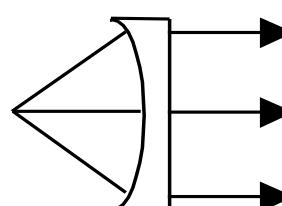


Cembung Cekung

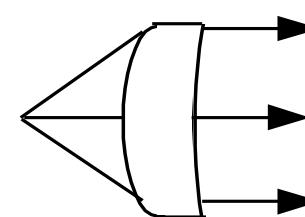
$$n < 1$$



Cekung Cekung



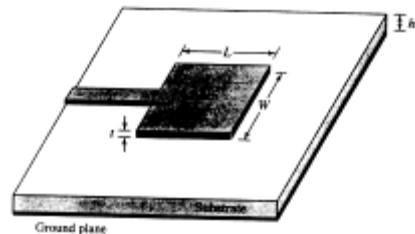
Cekung Datar



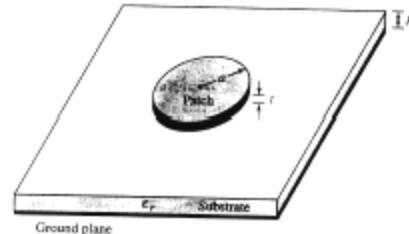
Cembung Cekung

Jenis-Jenis Antena

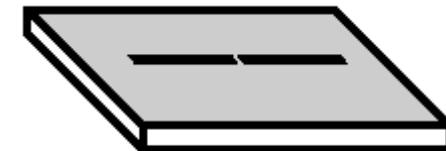
- *Printed Antenna / Mikrostrip*



(a) Rectangular patch

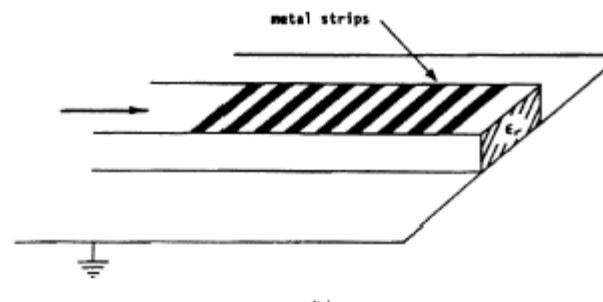
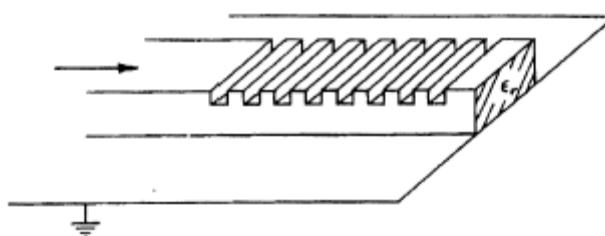


(b) Circular patch



(c) Printed dipole

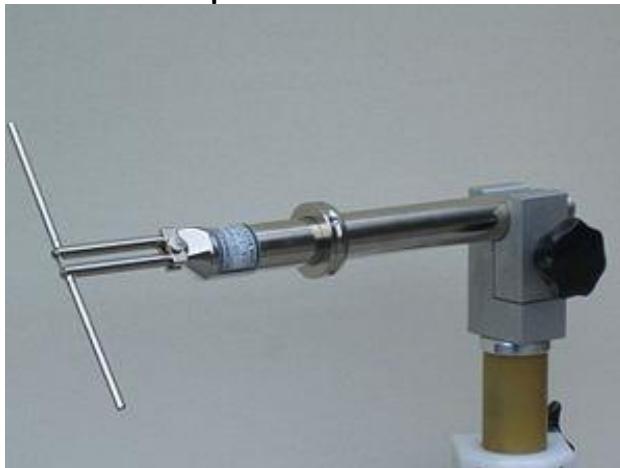
- *Leaky Wave Antenna*



Jenis-Jenis Antena

Wire antena

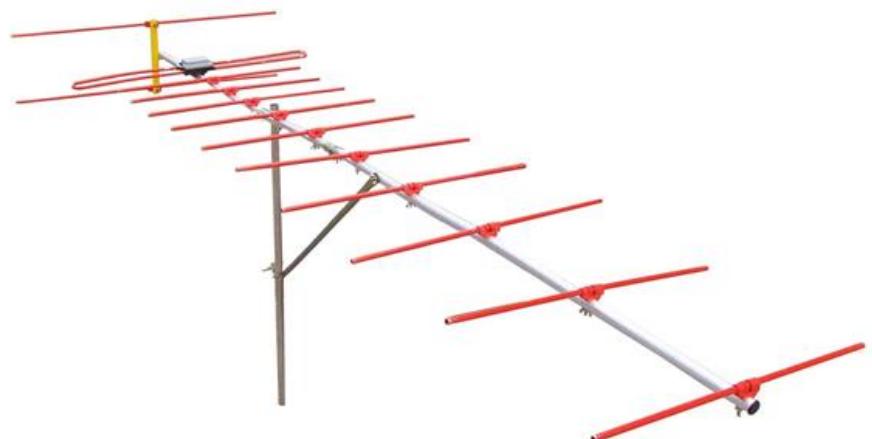
Dipole



LPDA



Yagi

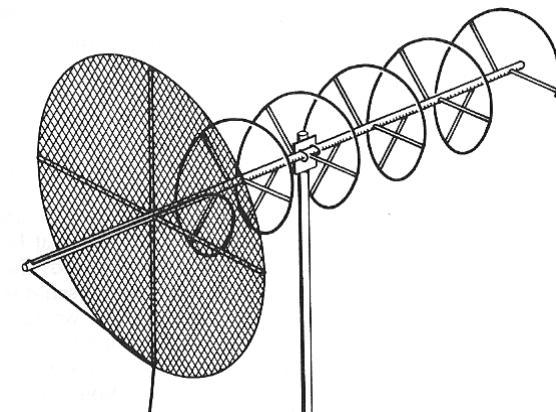


Grid antena

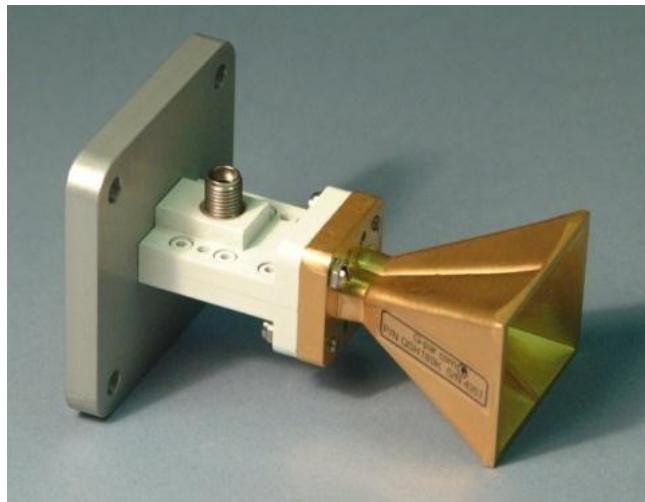


Jenis-Jenis Antena

Wire Antena



Jenis-Jenis Antena Apperture Antenna

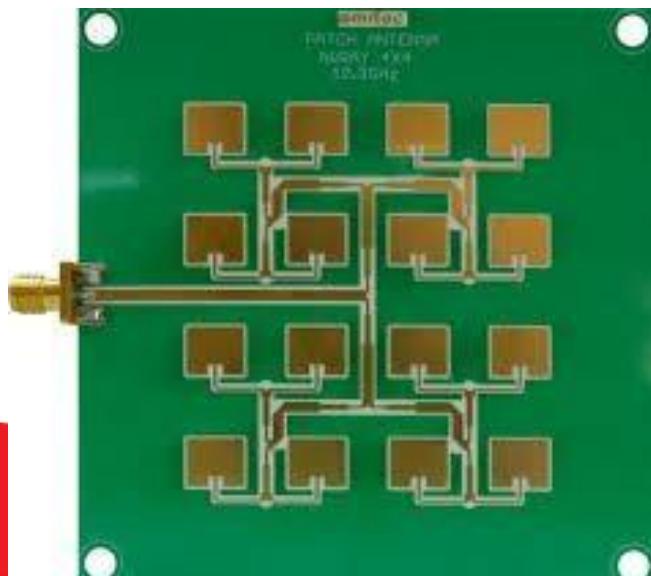


Jenis-Jenis Antena

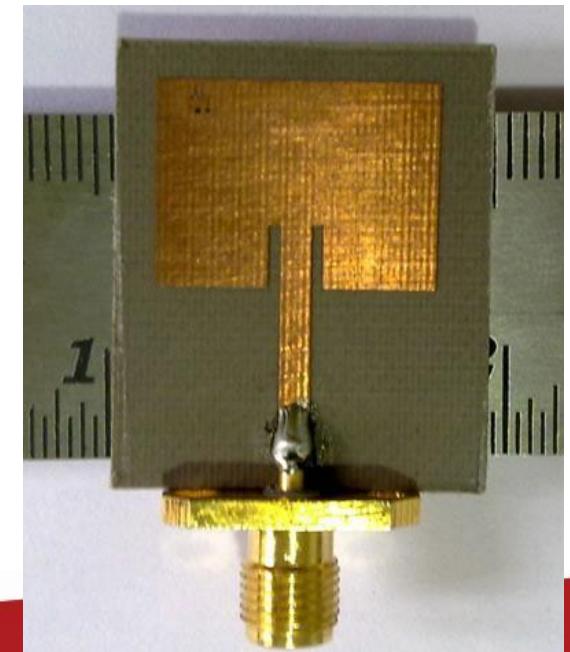
Microstrip Antenna



Microstrip Patch Antenna



Antena dan Propagasi (TTH3G3)



Yussi Perdana Saputera, ST., MT.

Jenis-Jenis Antena

Reflector Antenna



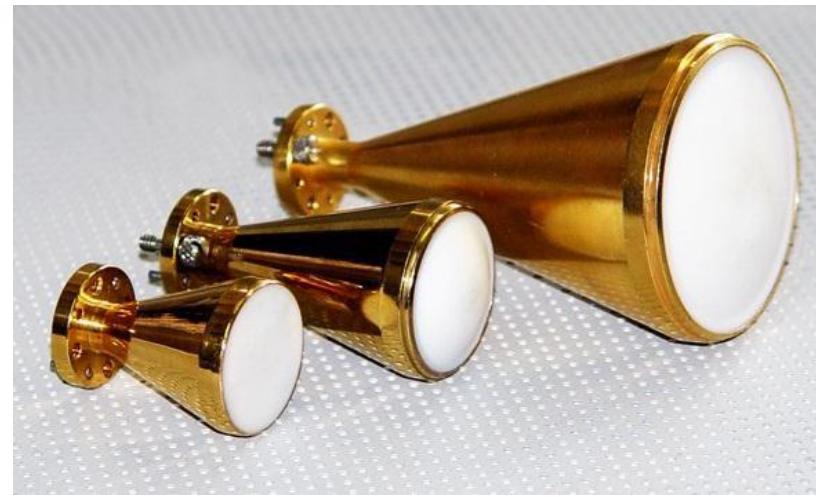
Jenis-Jenis Antena

Reflector Antenna



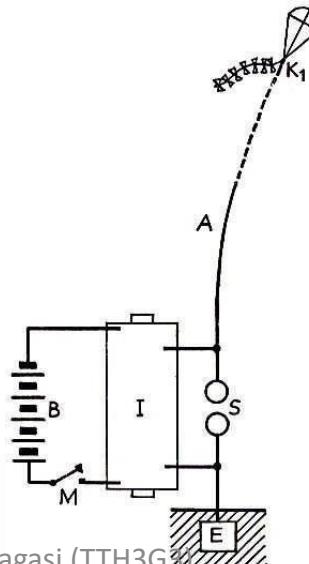
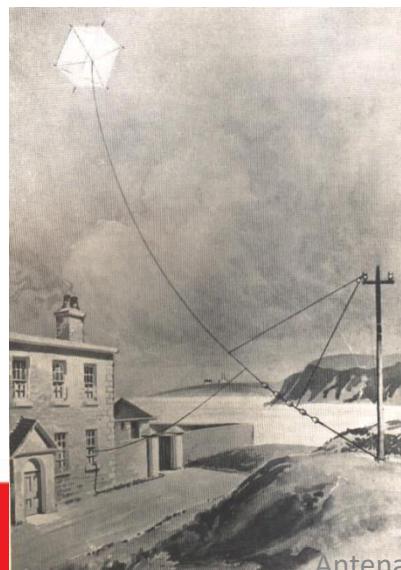
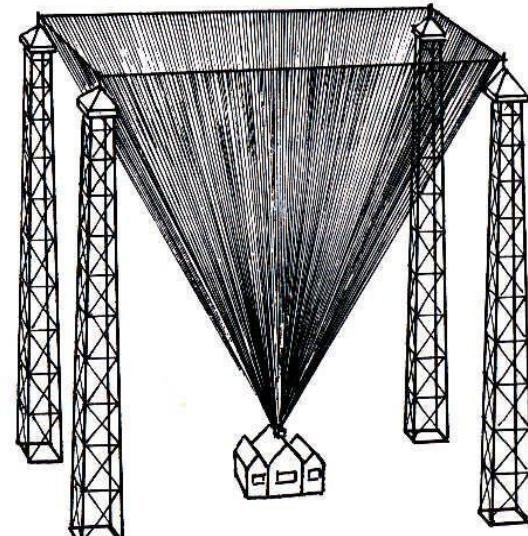
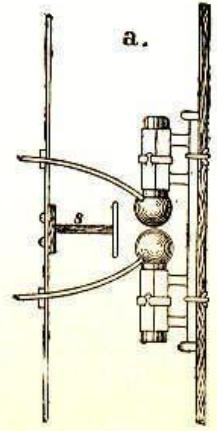
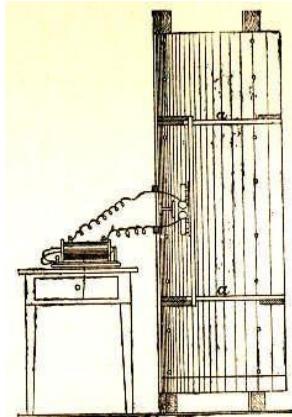
Jenis-Jenis Antena

Lens Antenna



Jenis-Jenis Antena

Antena generasi awal



Jenis-Jenis Antena Mobile Handset Antenna

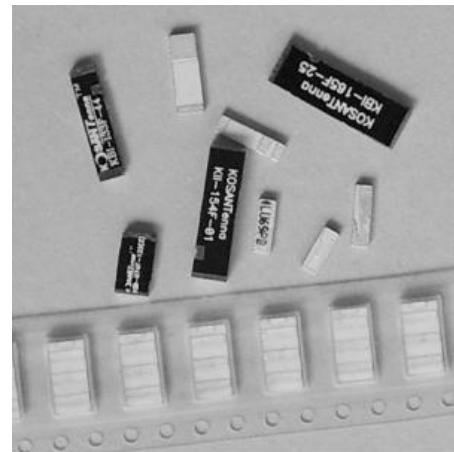
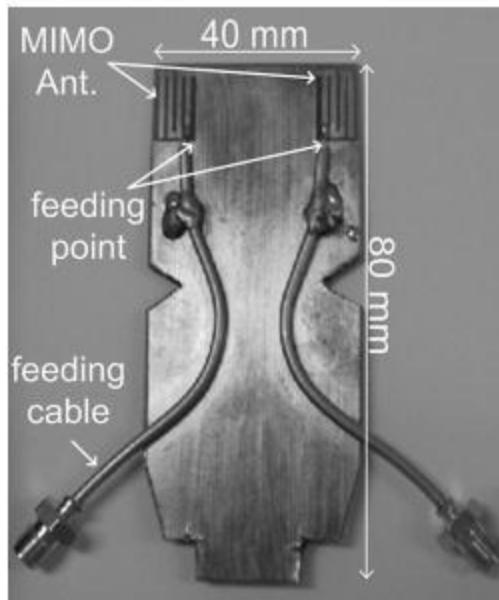
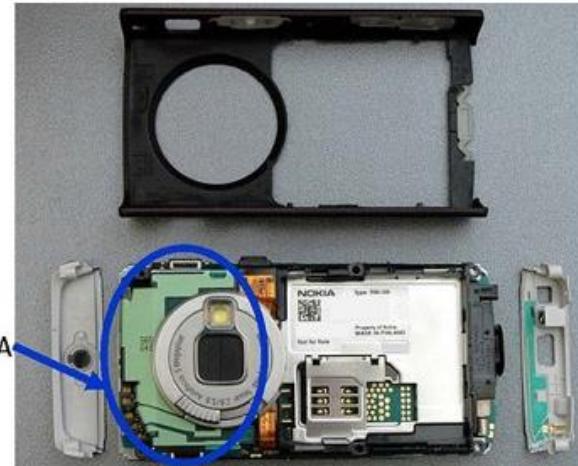
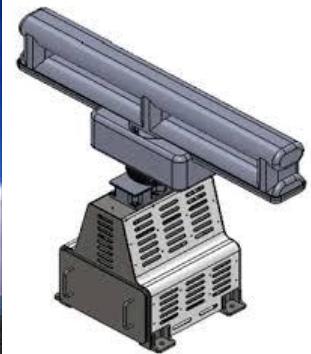
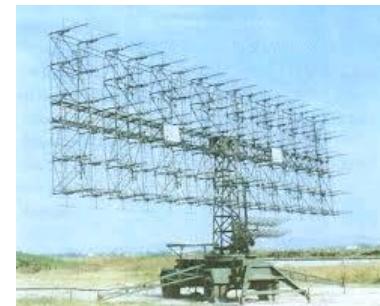


Fig. 6 Internal 1x2 MIMO antenna for WiBro.

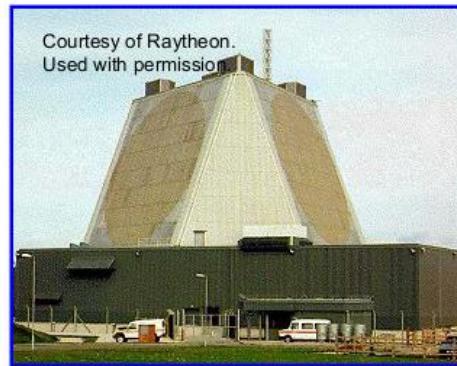


Jenis-Jenis Antena

Radar dan Military Antenna



Jenis-Jenis Antena Radar dan Military Antenna

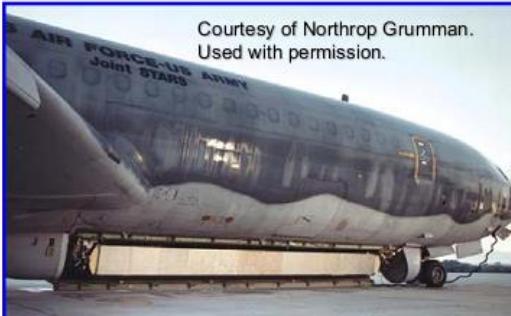


Jenis-Jenis Antena Radar dan Military Antenna

Courtesy of US Air Force.



Courtesy of Northrop Grumman.
Used with permission.



Courtesy of US Navy.



Courtesy of US Air Force.



Courtesy of Northrop Grumman.
Used with permission.



Courtesy of Boeing
Used with permission



Courtesy of Raytheon
Used with permission

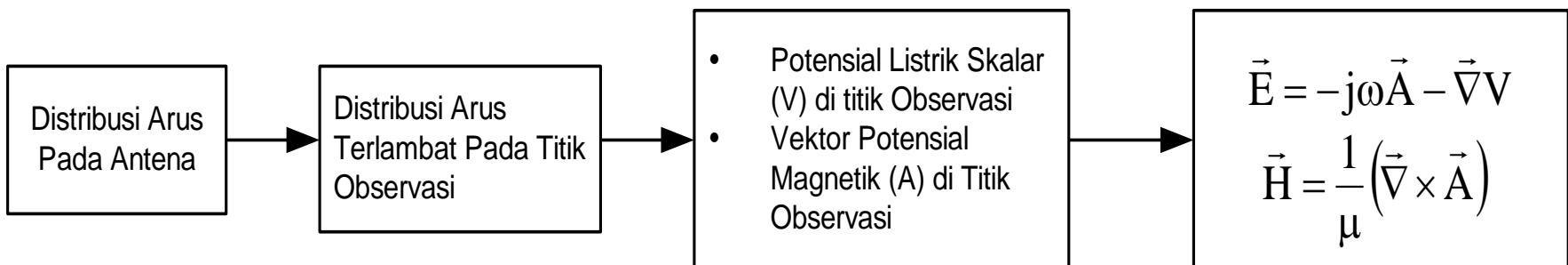
Jenis-Jenis Antena

Aplikasi Antena

- Antena untuk komunikasi Mobile (Antena BTS, Antena Handphone, Antena Laptop, MIMO antena)
- Antena untuk cognitive Radio
- Antena untuk komunikasi terestrial (Antena microwave)
- Antena untuk komunikasi satelit
- Antena Radar
- Antena untuk broadcasting (Antena radio FM, Antena TV)
- Antena untuk biomedic/ Bodycentric
- Antena untuk komunikasi jarak dekat (RFID tag, bluetooth, infra Red)
- Antena untuk radar atmosfer dan astronomi radio

Kesimpulan Modul 1

1. Antena adalah transformator / struktur transisi dari gelombang terbimbung menuju ke gelombang ruang bebas atau sebaliknya
2. Persamaan gelombang elektromagnetika yang dihasilkan suatu konduktor antena tergantung kepada **distribusi arus** sepanjang antena. Untuk distribusi arus yang lain (mis. segitiga, sinusoidal) akan menghasilkan persamaan medan listrik dan magnet yang berbeda
3. Untuk mendapatkan persamaan medan elektromagnetik didapatkan dengan menggunakan konsep besaran *Retarded Potential*. Lihat bagan berikut :



Kesimpulan Modul 1

4. Konsep bandwidth antena mirip dengan yang sudah dipelajari pada kuliah Saluran Transmisi (medan II), adalah daerah frekuensi kerja antena untuk range SWR tertentu. Bandwidth tergantung pada :
 - Bentuk fisik antena
 - Transformasi impedansi
5. Konsep medan jauh dan medan dekat didapatkan dari penyederhanaan persamaan medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh suatu konduktor berarus
 - Medan jauh : $r \gg$
 - Medan dekat : $r \ll$
 - Daerah Quasi Stasioner : $r \gg$, frekuensi rendah
6. Tahanan pancar adalah tahanan yang mewakili daya efektif yang dipancarkan antena

Questions?



A large, colorful word cloud centered around the words "thank you" in various languages. The word "thank" is in red, "you" is in yellow, and "you" is in green. The background is white with a subtle grid pattern. The word cloud includes many other words related to gratitude and thanks in different languages, such as "merci" (French), "gracias" (Spanish), "mochchakkeram" (Burmese), and "xièxie" (Chinese).