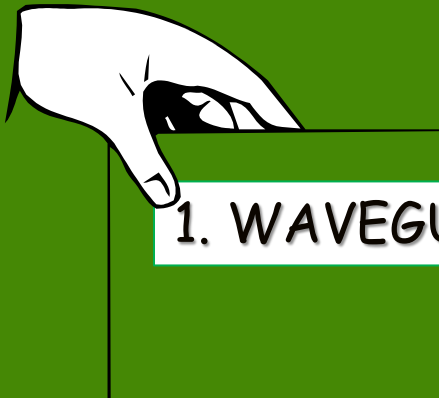
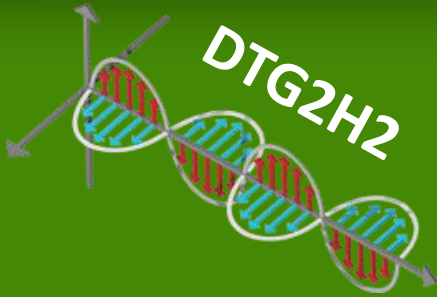




**Telkom**  
University

# ELEKTROMAGNETIK TERAPAN



1. WAVEGUIDE



# WHERE ARE WE??

## 1. PENDAHULUAN

- Pengenalan Mata Kuliah
- Silabus (materi), dan referensi,
- Aturan penilaian: Quis, Ujian, Tugas dll
- Aturan Perkuliahan : Kontrak Belajar
- Sejarah dan Aplikasi Elektromagnetika

## 2. PERSAMAAN MAXWELL UNTUK MEDAN DINAMIS

- Vektor Analysis
- Konsep dan Arti Fisis tentang Empat Persamaan Maxwell
- penerapan konsep Empat Persamaan Maxwell

## 3. PROPAGASI GELOMBANG DATAR

- Penurunan Pers. Helmholtz dari Persamaan Maxwell
- Perambatan gelombang pada Berbagai Medium (Dielektrik Merugi)
- Perambatan gelombang pada Dielektrik Sempurna, Vakum, Konduktor : Efek Kulit) dengan Parameter Primer dan Parameter Sekundernya
- Vektor Poynting dan Analisis Daya
- Polarisasi Gelombang
- Pantulan gelombang sudut datang nol
- Konservasi Daya dalam Pantulan
- Standing Wave Ratio, Impedansi Input, dan Matching gelombang
- Radome (med1|med2|med3 -med1|med2|med3)
- Perambatan GEM pada arah sembarang
- Pantulan Sudut-Datang Tak-Nol dan Nol : Gelombang Berdiri

## 4. SALURAN TRANSMISI

- Model dan Persamaan Saluran Transmisi
- Macam-macam Saluran Transmisi dengan Parameter Primer dan Sekundernya, Saluran Distortionless dan Lossless

# WHERE ARE WE??

- Kasus 1 : Saluran Tak-merugi Beban Sesuai (V, I, P)
- Kasus 2 : Saluran Tak-merugi Beban Tak-Sesuai (V, I, P)
- Impedansi input dan VSWR
- Kasus 3 : Saluran-saluran Istimewa ( $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$ ,  $Z_L = 0$ ,  $Z_L = \infty$ )
- Kasus 4 : Persoalan Saluran Merugi
- Penyesuaian Impedansi dengan Transformator  $\frac{1}{4}$  panjang glb.
- Konsep lebar-pita frekuensi untuk sistem saluran transmisi
- Penyesuaian Impedansi dengan Stub-Tunggal
- Smith-Chart: Pembuatan dan Penggunaan
- Penyesuaian Impedansi dengan Stub Ganda dengan Smith Chart

## 5. BUMBUNG GELOMBANG PERSEGI (BGP)

- Analisis Medan Elektromagnetik dalam BGP
- Gelombang Mode  $TM_{mn}$ , Parameter Primer dan Sekunder
- Gelombang Mode  $TE_{mn}$ , Parameter Primer dan Sekunder
- Tinjauan Daya dan Rugi-rugi

## 6. BUMBUNG GELOMBANG SIRKULAR (BGS)

- Analisis Medan Elektromagnetik dalam BGS
- Gelombang Mode  $TM_{nl}$  dan  $TE_{nl}$ , Parameter Primer dan Sekunder
- Pengenalan Serat Optik

## 7. RADIASI GELOMBANG

- Analisis Medan Radiasi Filamen Pendek, Diagram Arah
- Aproksimasi untuk Medan Jauh, Daya Pancar, Tahanan Pancar Dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  dan Monopole

# OUTLINE



1. Pendahuluan
2. Rectangular Waveguide
3. Circular Waveguide

# PENDAHULUAN



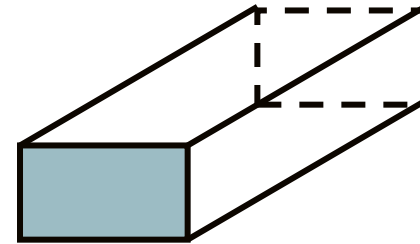
## Mode Propagasi

- ❑ **TE modes** (Transverse Electric) have no electric field in the direction of propagation ( $E_z = 0$  and  $H_z \neq 0$ )
- ❑ **TM modes** (Transverse Magnetic) have no magnetic field in the direction of propagation ( $E_z \neq 0$  and  $H_z = 0$ )
- ❑ **TEM modes** (Transverse Electro Magnetic) have no electric nor magnetic field in the direction of propagation ( $E_z = H_z = 0$ )
- ❑ **Hybrid modes/Quasi TEM** have both electric and magnetic field components in the direction of propagation.

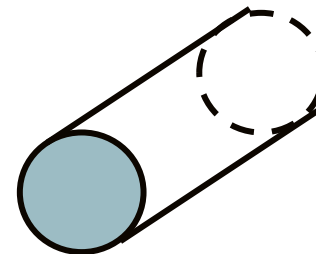
# PENDAHULUAN



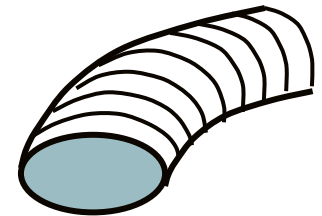
## Jenis Waveguide



rectangular



sirkular



ellips

# PENDAHULUAN



## Karakteristik Waveguide

- Waveguide tidak mendukung gelombang TEM karena konstruksinya tidak tersusun oleh 2 konduktor yang terpisah
- Gelombang dalam waveguide akan berpropagasi dengan mode yang lebih tinggi yaitu mode TM (Transverse Magnetic) dan mode TE (Transverse Electric)
- Cocok untuk aplikasi frekuensi tinggi dan high power

# PENDAHULUAN



## Kelebihan Waveguide

- Dapat menyalurkan power yang besar (orde Kilowatt)
- Memiliki Loss yang sangat kecil

## Kekurangan Waveguide

- Mode TE dan TM memiliki Bandwidth yang terbatas. Dalam kenyataanya gelombang tidak akan merambat pada mode TE dan TM pada frekuensi dibawah frekuensi cut off.
- Mode TE dan TM bersifat dispersif. Artinya kecepatan phasa dari gelombang sangat tergantung dari frekuensi.
- Bentuknya yang besar dan berat



# PENDAHULUAN



## Aplikasi Waveguide

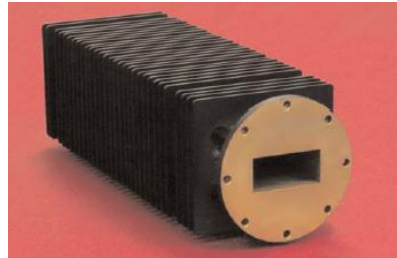
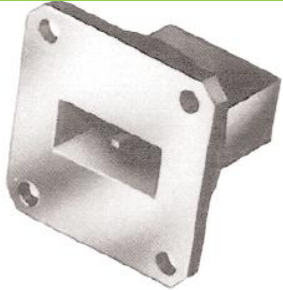
- ❑ Waveguide biasanya digunakan untuk *high frequency application* dan *high-power application*, contohnya adalah *high-power microwave transmitter*
- ❑ Meskipun tren teknologi menunjukkan kearah compact application yang mengakibatkan penggunaan waveguide sudah banyak diganti dengan planar teknologi (mikrostrip, stripline dsb), tetapi untuk aplikasi testing yang membutuhkan ketepatan tinggi (high precision) masih menggunakan waveguide.

# PENDAHULUAN



## Komponen – komponen Tambahan pada Aplikasi Waveguide

### Waveguide termination



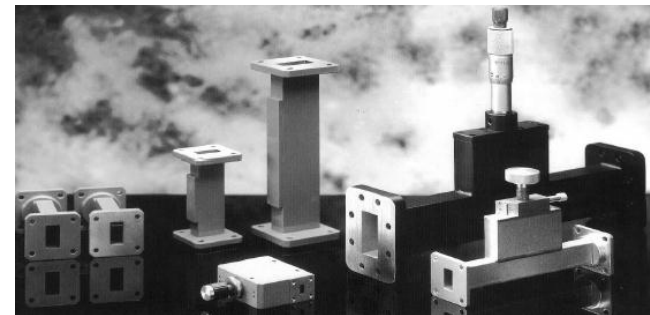
### Waveguide Bend and twist



### Coax to WG transition



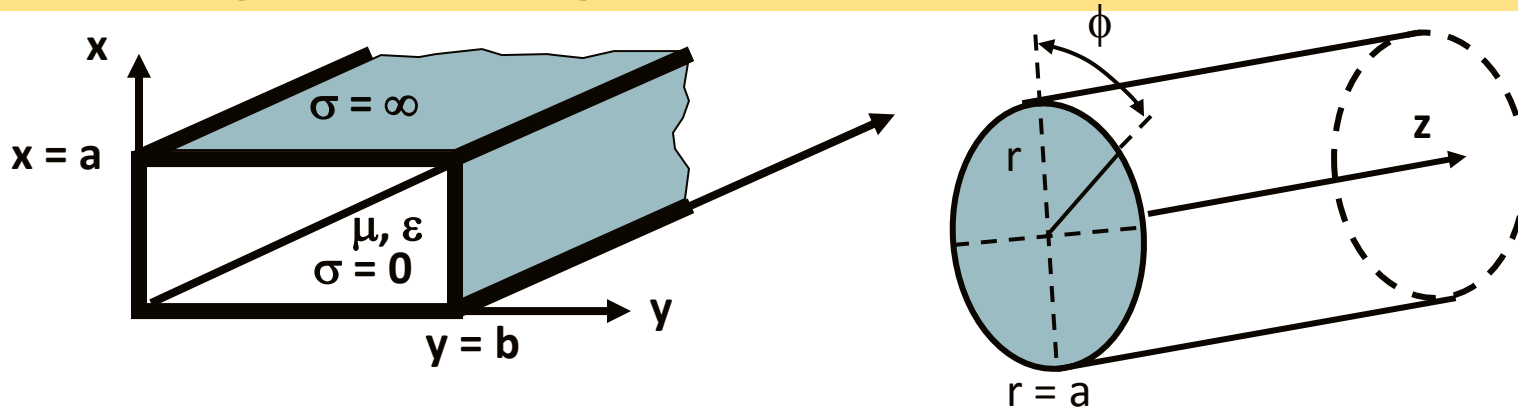
### Attenuator



# PENDAHULUAN



## Mode Propagasi dalam Waveguide



## Mode Gelombang Dalam Waveguide

Terdapat 2 kemungkinan konfigurasi medan dalam waveguide :

(1) *Transverse Electric* ( mode TE )

$$\bar{E}_z = 0, \bar{H}_z \neq 0$$

*Medan listrik transversal terhadap sumbu bumbung gelombang*

(2) *Transverse Magnetic* ( mode TM )

$$\bar{H}_z = 0, \bar{E}_z \neq 0$$

*Medan magnet transversal terhadap sumbu bumbung gelombang*

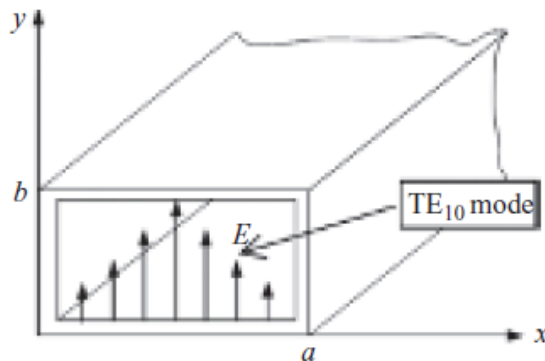
**Mode Transverse Electromagnetic** ( mode TEM ) TIDAK MUNGKIN ADA pada waveguide

# PENDAHULUAN



## Mode Propagasi dalam Waveguide

- ❑ Mode-mode dalam waveguide seperti  $TE_{mn}$  dan  $TM_{mn}$  sebenarnya menggambarkan *wave pattern* yang terjadi pada waveguide.
- ❑ Subscript **m** merepresentasikan jumlah puncak sepanjang **sumbu x** dan Subscript **n** merepresentasikan jumlah puncak sepanjang **sumbu y**
- ❑ Contoh : Mode  $TE_{10}$  berarti medan listrik berada pada bidang transversal dan tidak ada komponen medan listrik pada arah propagasi gelombang, dan medan listrik berubah sepanjang **sumbu x dengan 1 puncak, tetapi tidak berubah sepanjang sumbu y.**



- ❑ Mode mana yang akan dibangkitkan didalam waveguide tergantung dari frekuensi dan posisi pencatuan dari waveguide.

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



RWG MODE  $TM_{mn}$

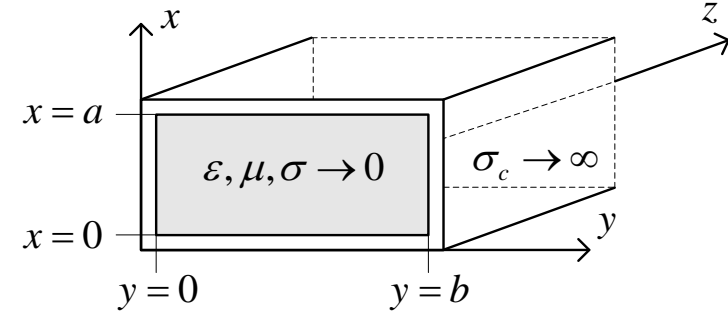
Persamaan medan

$$\bar{E}_z = C \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{mn}} z \right)$$

Atau

$$E_z = E_o \sin \left( \frac{m\pi}{a} x \right) \sin \left( \frac{n\pi}{b} y \right) e^{-j\beta z}$$

$$H_z = 0$$



**C real**, dan

$$h^2 = M^2 + N^2$$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

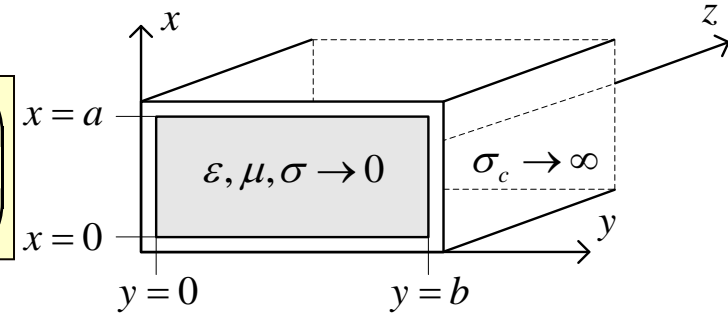
# RECTANGULAR WAVEGUIDE



RWG MODE  $TM_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{E}_x = \frac{\beta_{mn}}{h^2} \frac{m\pi}{a} C \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{mn}} z \right)$$



Atau

$$E_{xs} = \frac{-j\beta_{mn} \left( \frac{m\pi}{a} \right)}{\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2} E_{z0} \cos \left( \frac{m\pi}{a} x \right) \sin \left( \frac{n\pi}{b} y \right) e^{-j\beta_{mn} z}$$

**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

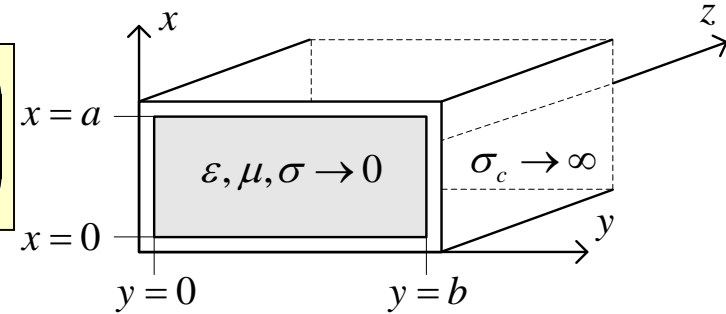
# RECTANGULAR WAVEGUIDE



RWG MODE  $TM_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{E}_y = \frac{\beta_{mn}}{h^2} \frac{n\pi}{b} C \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{mn}} z \right)$$



Atau

$$E_{ys} = \frac{-j\beta_{mn} \left( \frac{n\pi}{b} \right)}{\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2} E_{z0} \sin \left( \frac{m\pi}{a} x \right) \cos \left( \frac{n\pi}{b} y \right) e^{-j\beta_{mn} z}$$

**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



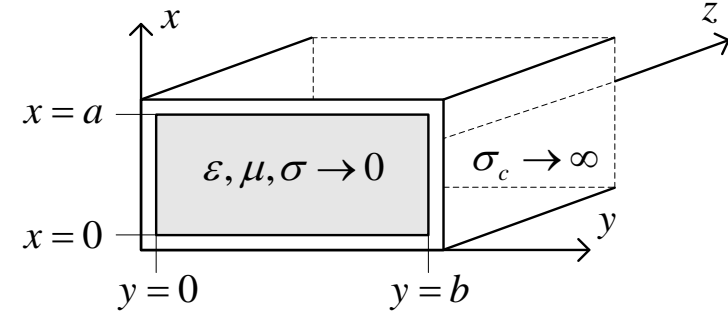
RWG MODE  $TM_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{H}_x = -\frac{\omega\epsilon}{h^2} \frac{n\pi}{b} C \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{mn}} z \right)$$

Atau

$$H_{xs} = \frac{j\omega\epsilon \left( \frac{n\pi}{b} \right)}{\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2} E_{z0} \sin \left( \frac{m\pi}{a} x \right) \cos \left( \frac{n\pi}{b} y \right) e^{-j\beta_{mn} z}$$



**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$



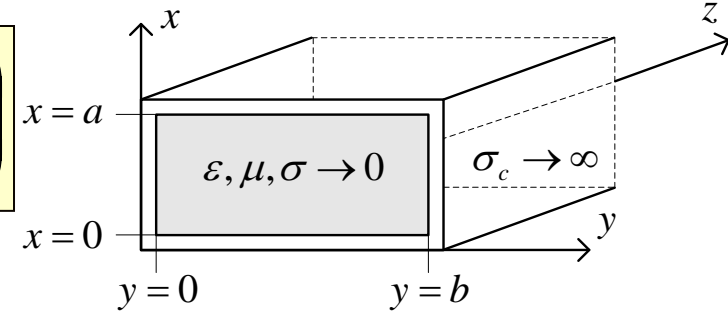
# RECTANGULAR WAVEGUIDE



RWG MODE  $TM_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{H}_y = \frac{\omega \epsilon}{h^2} \frac{m\pi}{a} C \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{mn}} z \right)$$



Atau

$$H_{ys} = \frac{-j\omega\epsilon \left( \frac{m\pi}{a} \right)}{\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2} E_{z0} \cos \left( \frac{m\pi}{a} x \right) \sin \left( \frac{n\pi}{b} y \right) e^{-j\beta_{mn}z}$$

**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



RWG MODE  $TE_{mn}$

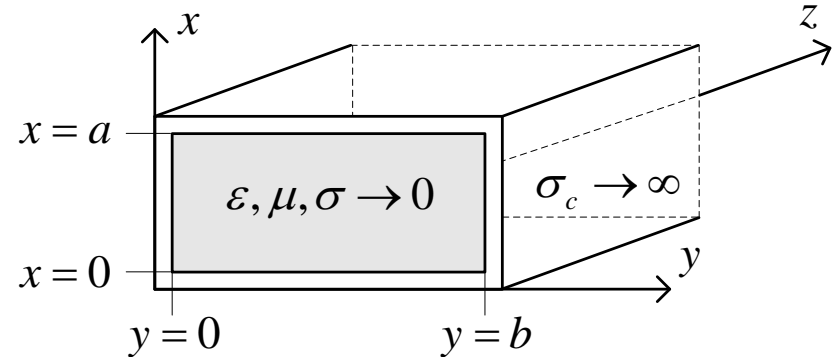
Persamaan medan

$$H_z = H_o \cos\left(\frac{m\pi}{a} x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b} y\right) e^{-j\beta z}$$

$$E_z = 0$$

Atau

$$\bar{H}_z = C \cos Mx \cos Ny e^{-j\beta_{mn}z}$$



**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



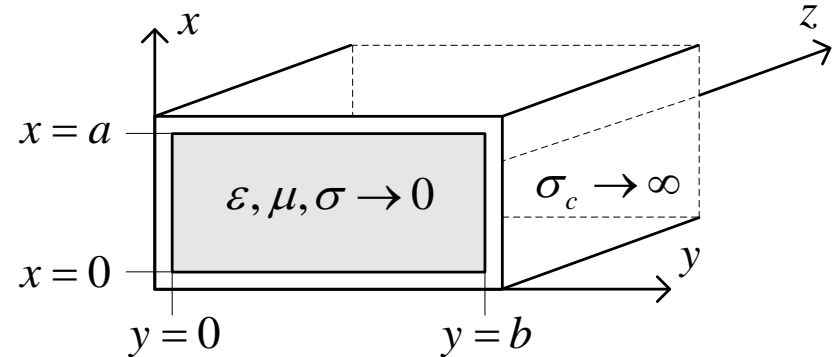
RWG MODE  $TE_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{E}_x = \frac{j\omega\mu N}{M^2 + N^2} C(\cos Mx)(\sin Ny) e^{-j\beta_{mn}z}$$

Atau

$$E_{xs} = \frac{j\omega\epsilon \left(\frac{n\pi}{b}\right)}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} H_{z0} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta_{mn}z}$$



**C real**, dan

$$h^2 = M^2 + N^2$$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



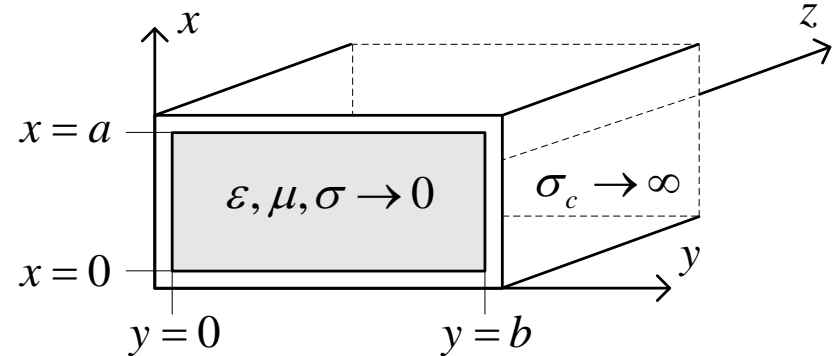
RWG MODE  $TE_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{E}_y = \frac{-j\omega\mu M}{M^2 + N^2} C(\sin Mx)(\cos Ny) e^{-j\beta_{mn}z}$$

Atau

$$E_{ys} = \frac{-j\omega\mu \left(\frac{m\pi}{a}\right)}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} H_{z0} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta_{mn}z}$$



**C** real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$m, n = 1, 2, 3, \dots$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



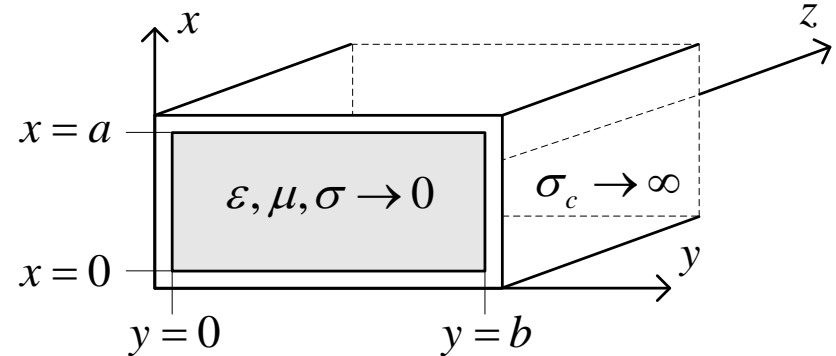
RWG MODE  $TE_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{H}_x = \frac{j\beta_{mn} M}{M^2 + N^2} C (\sin Mx) (\cos Ny) e^{-j\beta_{mn}z}$$

Atau

$$H_{xs} = \frac{j\beta_{mn} \left(\frac{m\pi}{b}\right)}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} H_{z0} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \cos\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta_{mn}z}$$



$C$  real, dan  
 $h^2 = M^2 + N^2$

$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$m, n = 1, 2, 3, \dots$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE



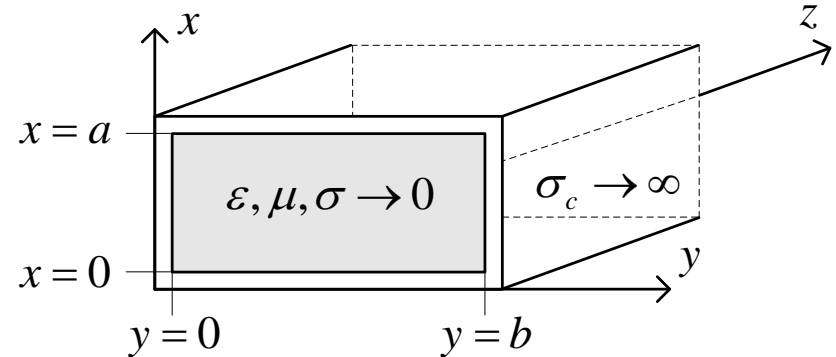
RWG MODE  $TE_{mn}$

Persamaan medan

$$\bar{H}_y = \frac{-j\beta_{mn} N}{M^2 + N^2} C (\cos Mx) (\sin Ny) e^{-j\beta_{mn}z}$$

Atau

$$H_{ys} = \frac{j\beta_{mn} \left(\frac{n\pi}{b}\right)}{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} H_{z0} \cos\left(\frac{m\pi}{a}x\right) \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) e^{-j\beta_{mn}z}$$



**C** real, dan

$$h^2 = M^2 + N^2$$

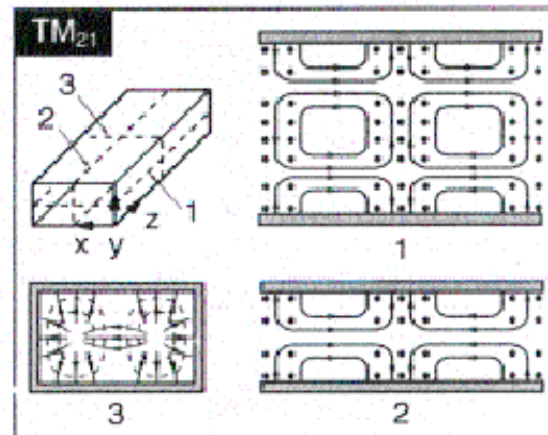
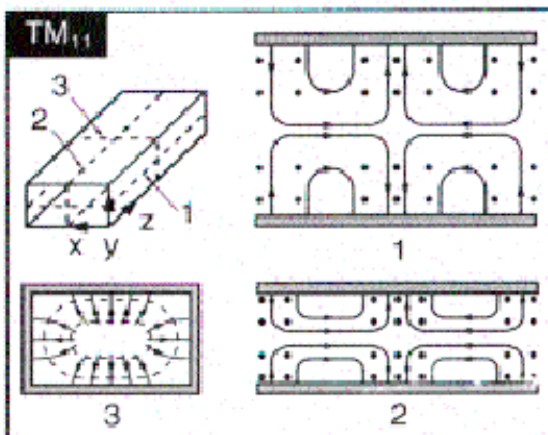
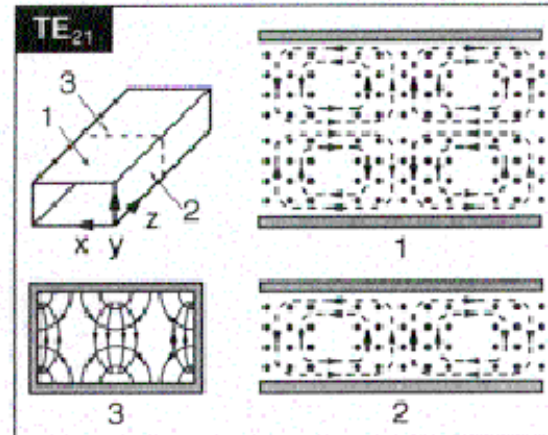
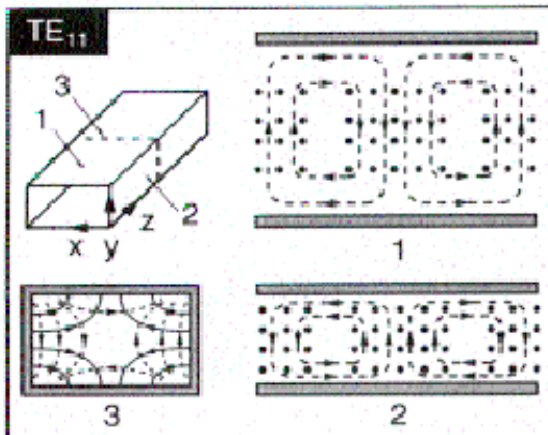
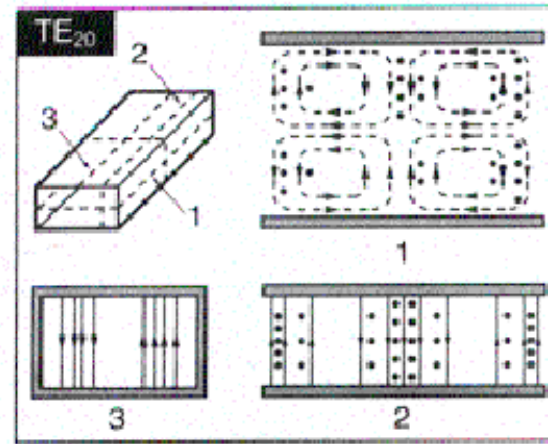
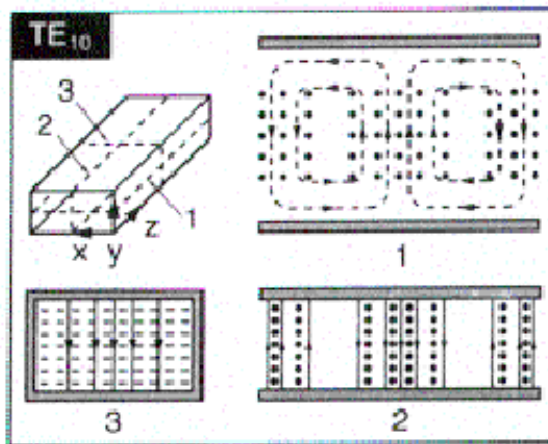
$$M = \frac{m\pi}{a} \quad N = \frac{n\pi}{b}$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots$$

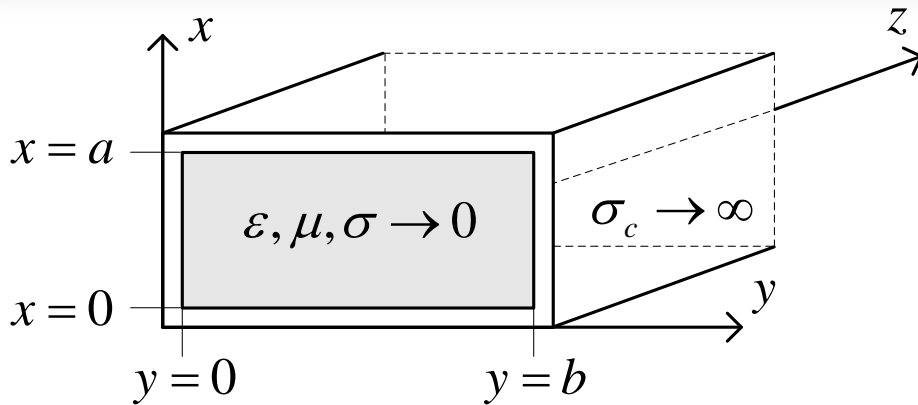
# RECTANGULAR WAVEGUIDE



Mode Perambatan GEM pada Rectangular Waveguide



# RECTANGULAR WAVEGUIDE



## Frequency Cutoff

$$f_{CO, mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

$$f_{ops} > f_{CO, mn}$$

Terjadi perambatan energi,  
gelombang berjalan dalam  
waveguide

$$f_{ops} < f_{CO, mn}$$

Tidak terjadi perambatan  
energi, "*mode evanescent*"

## Konstanta Propagasi

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2\mu\epsilon}$$

- Terjadi perambatan energi untuk,

$$\omega^2\mu\epsilon > \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

$$\gamma = j\beta_{mn} = j\sqrt{\omega^2\mu\epsilon - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

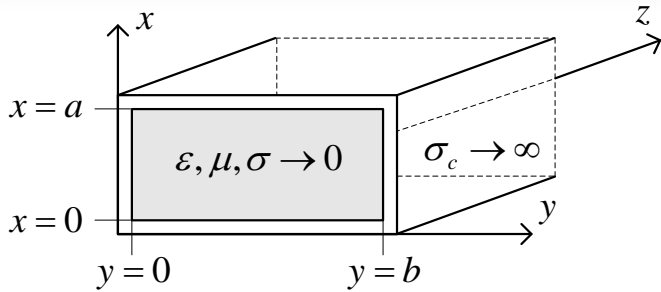
- Tidak terjadi perambatan energi untuk,

$$\omega^2\mu\epsilon < \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2$$

$$\gamma = \alpha_{mn} = \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \omega^2\mu\epsilon}$$



# RECTANGULAR WAVEGUIDE



## Konstanta Phasa

$$\beta_{mn} = \beta \sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}$$

## Group Velocity

$$v_{g,mn} = v \sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}$$

## Kecepatan Phasa

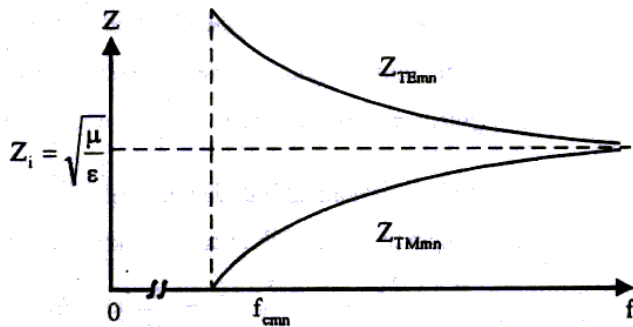
$$v_{mn} = \frac{v}{\sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}}$$

## Panjang Gelombang

$$\lambda_{mn} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}}$$

$$F_{mn} = \sqrt{1 - \left( \frac{f_{c,mn}}{f_{op}} \right)^2} \quad \text{"Faktor mode"}$$

## Impedansi Karakteristik



$$\bar{Z}_{TM,mn} = \bar{Z}_i \sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}$$

$$\bar{Z}_{TE,mn} = \frac{\bar{Z}_i}{\sqrt{1 - \left( \frac{f_{CO,mn}}{f_{op}} \right)^2}}$$

$$\bar{Z}_i = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Grafik impedansi intrinsik untuk mode TE dan TM

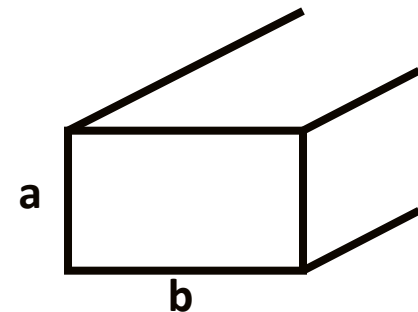
# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Mode Terendah / Mode Dominan / Fundamental Mode

- Mode gelombang yang memiliki frekuensi *cutoff* paling rendah disebut sebagai mode dominan (mode terendah). Gelombang mode dominan memiliki daya/energi paling dominan diantara mode-mode lainnya
- Pada umumnya, waveguide direncanakan untuk bekerja pada mode terendah dan mode lainnya yang lebih tinggi dihindarkan karena memiliki Loss yang lebih besar dan field pattern bisa berubah.
- Untuk bumbung gelombang rektangular, mode terendah adalah mode  $TE_{10}$  atau  $TE_{01}$  tergantung dari dimensi bumbung gelombang. Hal ini karena mode-mode tersebut kemungkinan memiliki frekuensi cutoff terendah.

$$f_{CO, mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

- Jika  $a > b$ , mode terendah adalah  $TE_{10}$ , sedangkan jika  $a < b$ , mode terendah adalah  $TE_{01}$
- Untuk mode TM, mode terendah adalah  $TM_{11}$



# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Mode Terendah / Mode Dominan / Fundamental Mode

- Setiap waveguide standard dari industri biasanya hanya cocok untuk frekuensi tertentu saja dan bisa dilihat di tabel disamping

Waveguide	Freq. (GHz)	ID of $a$ (mm)	ID of $b$ (mm)	Freq. band
WR-137	5.85–8.2	34.85	15.80	C band
WR-112	7.05–10.00	28.50	12.60	H band
WR-90	8.2–12.4	22.86	10.16	X band
WR-62	12.4–18.0	15.80	7.90	Ku band
WR-51	15.0–22.0	12.96	6.48	K band
WR-42	18.0–26.5	10.67	4.32	K band

# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Contoh Soal

Suatu RWG memiliki dimensi  $a = 7,62$  cm dan  $b = 4$  cm, terbuat dari bahan konduktor yang diasumsikan sempurna, rongganya vakum, beroperasi pada mode  $TE_{10}$  pada frekuensi operasi 30 % lebih tinggi dari frekuensi *cutoff*-nya. Hitung :

- a) Frekuensi *cutoff*
- b) Frekuensi operasi
- c) Impedansi intrinsik

# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Tinjauan Daya

Rapat daya (vektor Poynting) rata-rata

$$\vec{P}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E}_s \times \vec{H}_s^*)$$

$$\vec{P}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) = \frac{1}{2} \left( \frac{|\mathbf{E}_x|^2 + |\mathbf{E}_y|^2}{Z_{mn}} \right) \hat{a}_z = \frac{Z_{mn}}{2} \left( |\mathbf{H}_x|^2 + |\mathbf{H}_y|^2 \right) \hat{a}_z$$

Sedangkan daya total rata-rata yang menembus bidang z konstan (kearah z)

$$W_{av} = \int_{y=0}^b \int_{x=0}^a (\vec{P}_{av} \hat{a}_z) \bullet (dx dy \hat{a}_z) = \frac{1}{2} \int_{y=0}^b \int_{x=0}^a \left( \frac{|\mathbf{E}_x|^2 + |\mathbf{E}_y|^2}{Z_{mn}} \right)$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Rugi-rugi Daya pada RWG

- ❑ Rugi-Rugi daya pada RWG disebabkan oleh ketidaksempurnaan dielektrik rongga dan ketidaksempurnaan konduktor dinding.
- ❑ Dielektrik tak-sempurna  $\bar{\epsilon} = \epsilon \left( 1 - j \frac{\sigma}{\omega \epsilon} \right)$  menyebabkan  $\gamma_{mn} = \alpha_{mn} + j\beta_{mn}$  pada mode propagasi dengan :

$\beta_{mn} \neq 0$  , dan  $\alpha_{mn} \neq 0$  , sehingga :

$$\gamma = \sqrt{\left( \frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{b} \right)^2 - \omega^2 \mu \epsilon (1 - j \tan \theta)}$$

- ❑ Konduktor tak-sempurna  $\sigma_c < \infty$  menyebabkan sebagian medan yang mestinya maksimal dipropagasikan, tetapi diabsorpsi sebagian oleh dinding-dinding konduktor sebagai daya disipasi.

# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Pencatuan Waveguide

- **waveguide** selalu dicatu pada titik dimana terjadi medan maksimumnya.
- Lihat persamaan medan listriknya, cari titik maksimumnya dan **waveguide dicatu pada titik maksimum tersebut !**
- Pencatuan bisa dilakukan dengan kabel koaxial dengan ujung dikupas dimasukkan ke dalam waveguide.
- **Contoh untuk TE<sub>10</sub> :**

Terdapat satu komponen medan untuk medan listrik E, yaitu komponen ke arah sumbu y :

$$\bar{E}_y = -\frac{j\omega\mu a}{\pi} C \sin \frac{\pi x}{a} e^{-j\beta_{10}z} = \frac{\omega\mu a}{\pi} C \sin \frac{\pi x}{a} \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{\lambda_{10}} z \right)$$

**Untuk t = 0**, maka harga medan listrik maksimum terjadi pada :

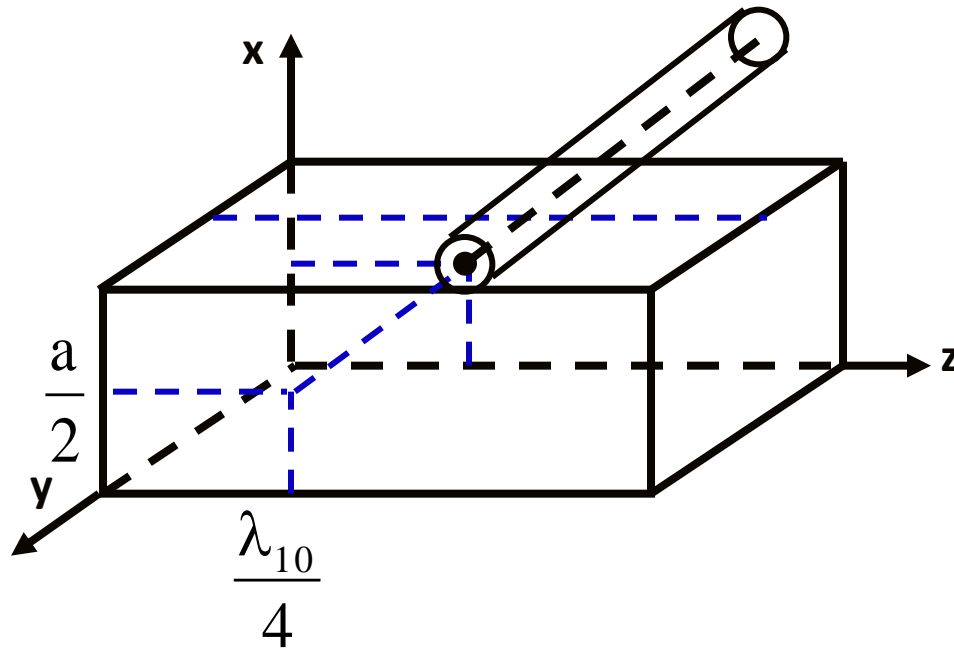
$$x = \frac{a}{2}, \quad y = \text{sembarang}, \quad \text{dan}$$

$$z = \frac{\lambda_{10}}{4} \quad \rightarrow$$

$$\left( \frac{a}{2}, 0, \frac{\lambda_{10}}{4} \right)$$

# RECTANGULAR WAVEGUIDE

## Pencatuan Waveguide

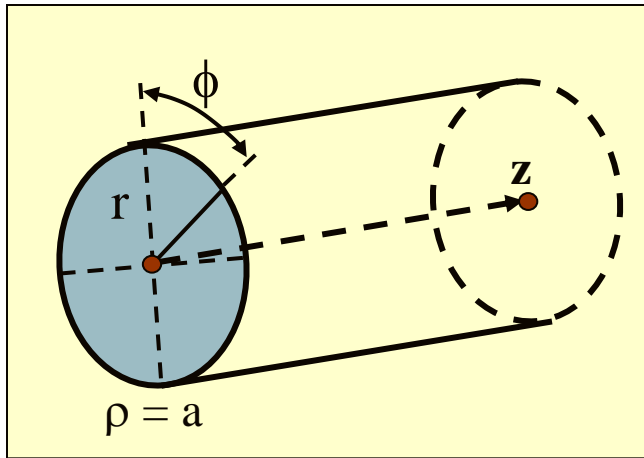


Percatuan untuk  $TE_{10}$



# CIRCULAR WAVEGUIDE

## Pendahuluan



Asumsi: Misalkan Circular Waveguide (CWG) dengan sistem koordinat silinder dengan arah seperti gambar di samping:

Dinding CWG: Konduktor sempurna ( $\sigma_c = \infty$ )

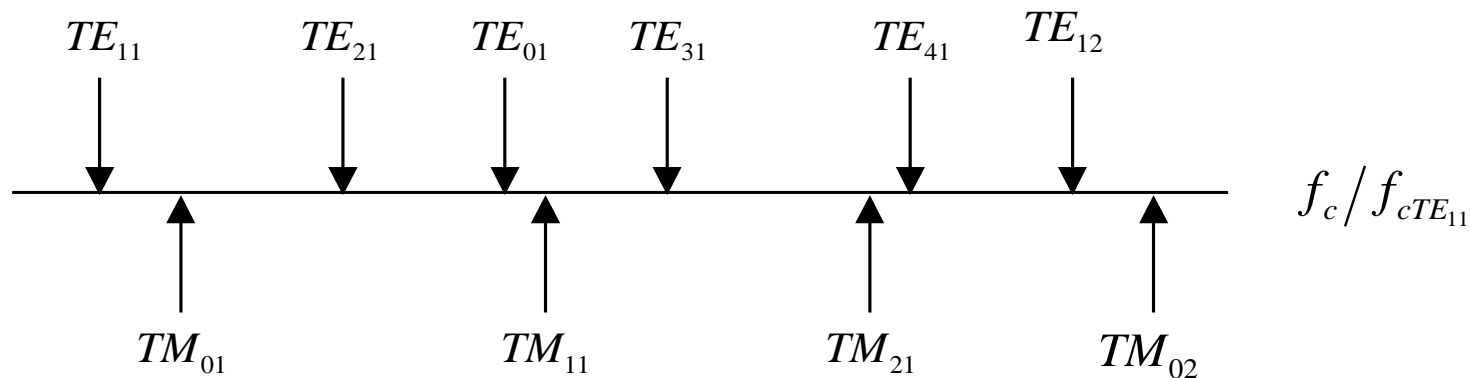
Pengisi CWG: Dielektrik sempurna ( $\sigma_s = 0$ ;  $\rho = 0$ ,  $\mu$ ,  $\epsilon$ )

Dimensi CWG: Jari-jari =  $a$ .

gelombang merambat ke arah z-positif.

## Mode Terendah / Mode Dominan / Fundamental Mode

- Mode Dominan pada CWG adalah  $TE_{11}$  dan  $TM_{01}$

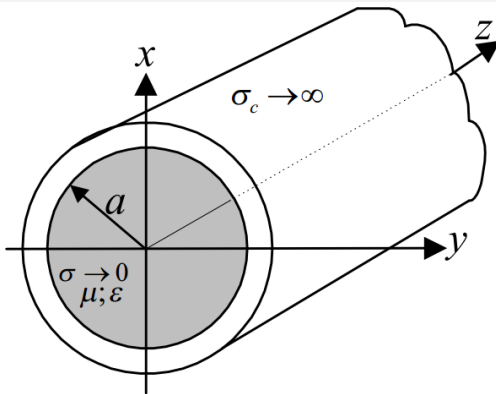


# CIRCULAR WAVEGUIDE

Tipe Gelombang	TM <sub>01</sub>	TM <sub>02</sub>	TM <sub>11</sub>	TE <sub>01</sub>	TE <sub>11</sub>
Distribusi medan transversal maksimum pada penampang melintang					
Distribusi medan sepanjang bumbung gelombang					
Komponen medan yang ada	$E_z, E_r, H_\phi$	$E_z, E_r, H_\phi$	$E_z, E_r, E_\phi, H_r, H_\phi$	$H_z, H_r, E_\phi$	$H_z, H_r, H_\phi, E_r, E_\phi$
$P_{nl}$ atau $P_{nl}'$	2,405	5,52	3,83	3,83	1,84
$(k_c)_{nl}$	$\frac{2,405}{a}$	$\frac{5,52}{a}$	$\frac{3,83}{a}$	$\frac{3,83}{a}$	$\frac{1,84}{a}$
$(\lambda_c)_{nl}$	2,61 a	1,14 a	1,64 a	1,64 a	3,41 a
$(f_c)_{nl}$	$\frac{0,383}{a \sqrt{\mu \epsilon}}$	$\frac{0,877}{a \sqrt{\mu \epsilon}}$	$\frac{0,609}{a \sqrt{\mu \epsilon}}$	$\frac{0,609}{a \sqrt{\mu \epsilon}}$	$\frac{0,293}{a \sqrt{\mu \epsilon}}$
Redaman oleh konduktor	$\frac{R_s}{Z_1} \frac{1}{\sqrt{1 - (\xi_c / \xi)^2}}$	$\frac{R_s}{Z_1} \frac{1}{\sqrt{1 - (\xi_c / \xi)^2}}$	$\frac{R_s}{Z_1} \frac{1}{\sqrt{1 - (\xi_c / \xi)^2}}$	$\frac{R_s}{Z_1} \frac{(\xi_c / \xi)^2}{\sqrt{1 - (\xi_c / \xi)^2}}$	$\frac{R_s}{Z_1} \frac{1}{\sqrt{1 - (\xi_c / \xi)^2}} \left[ \left( \frac{\xi_c}{\xi} \right)^2 + 0,420 \right]$

Catatan :  $R_s = \sqrt{\pi f \mu / \sigma}$

# CIRCULAR WAVEGUIDE



## Konstanta Propagasi

$$\gamma_{\text{TM},nl} = \sqrt{\left(\frac{p_{nl}}{a}\right)^2 - \omega^2 \mu \epsilon}$$

$$\gamma_{\text{TE},nl} = \sqrt{\left(\frac{p'_{nl}}{a}\right)^2 - \omega^2 \mu \epsilon}$$

## Frekuensi Cutoff

$$f_c = \frac{p_{nl}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \Big|_{\text{TM}}$$

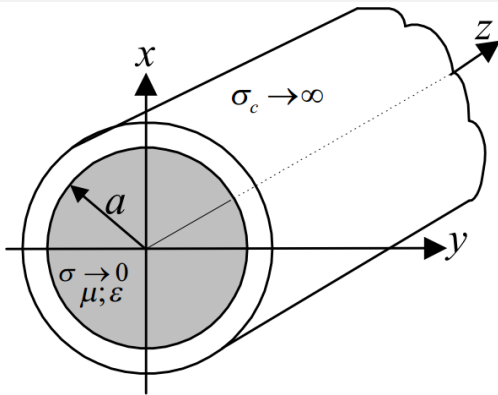
$$f_c = \frac{p'_{nl}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon}} \Big|_{\text{TE}}$$

## Konstanta Phasa

$$\beta_{\text{TM},nl} = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - \left(\frac{p_{nl}}{a}\right)^2}$$

$$\beta_{\text{TE},nl} = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - \left(\frac{p'_{nl}}{a}\right)^2}$$

# CIRCULAR WAVEGUIDE



## Panjang Gelombang

$$\lambda_{nl} = \frac{\lambda}{F_{nl}}$$

## Kecepatan Fasa dan Kecepatan Group

$$v_{ph} = \frac{\omega}{\beta_{nl}} = \frac{v}{F_{nl}}$$

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta_{nl}} = v F_{nl}$$

$$F_{nl} = \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_{op}}\right)^2}$$

“ Faktor mode “

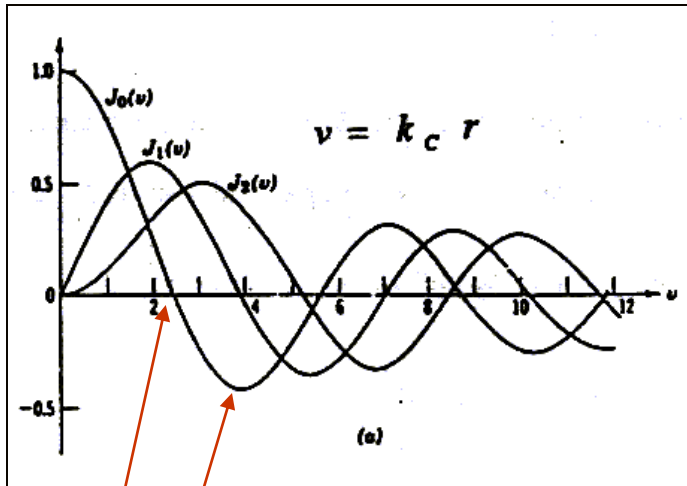
## Impedansi Intrinsik

$$\bar{Z}_{TM,nl} = \bar{Z}_i \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_{op}}\right)^2}$$

$$\bar{Z}_{TE,nl} = \frac{\bar{Z}_i}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_{op}}\right)^2}}$$

# CIRCULAR WAVEGUIDE

Fungsi Bessel orde 0,1,2, ... (  $p_{nl}$  )  
 Untuk mode TM



• Fungsi Bessel orde ke-0

• Akar pertama fungsi Bessel orde ke-0 =  $p_{01}$

Untuk mode TM

**TABLE 8-2-2**  $p$ th ZEROS OF  $J_p(k_c r)$

$p$	$n$					
	0	1	2	3	4	5
1	2.405	3.832	5.136	6.380	7.588	8.771
2	5.520	7.106	8.417	9.761	11.065	12.339
3	8.645	10.173	11.620	13.015	14.372	
4	11.792	13.324	14.796			

Untuk mode TE

**TABLE 8-2-1**  $p$ th ZEROS OF  $J'_p(k_c a)$

$p$	$n$					
	0	1	2	3	4	5
1	3.832	1.841	3.054	4.201	5.317	6.416
2	7.016	5.331	6.706	8.015	9.282	10.520
3	10.173	8.536	9.969	11.346	12.682	13.987
4	13.324	11.706	13.170			

# CIRCULAR WAVEGUIDE

## Contoh Soal

Suatu waveguide sirkular terbuat dari konduktor sempurna dengan radius 1,5 cm, diisi dengan dielektrik ( $\epsilon_r = 4$ , dan  $\mu_r = 1$ ). Jika frekuensi operasinya 20% lebih rendah dari frekuensi cut-off mode di atas mode dominan, maka:

- frekuensi operasi = .....GHz
- panjang gelombang = .....
- kecepatan grup = ....., kecepatan fasa = .....

ANY QUESTION???



Thank you

