



FEG2C3 Elektromagnetika I

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
2014

Tujuan Pembelajaran

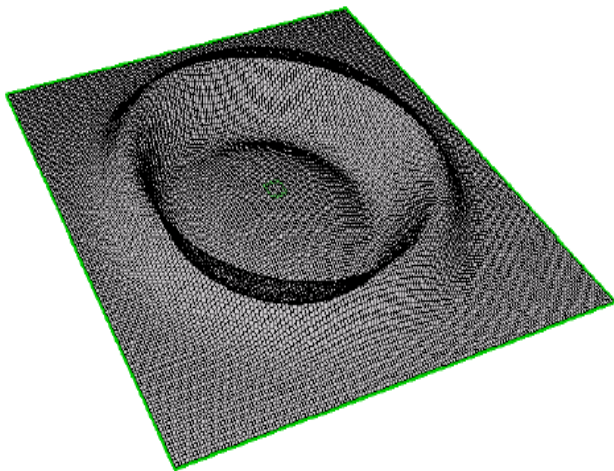
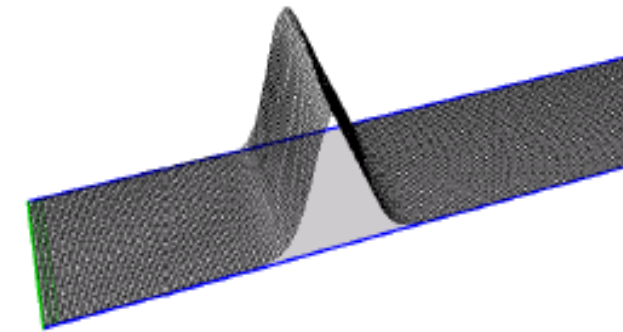
- Mahasiswa mampu mengaplikasikan persamaan Maxwell dalam menurunkan persamaan gelombang datar dalam ruang bebas
- Mahasiswa mengetahui parameter-parameter gelombang datar dan memahami karakteristik gelombang datar yang merambat dalam ruang bebas

Organisasi Materi

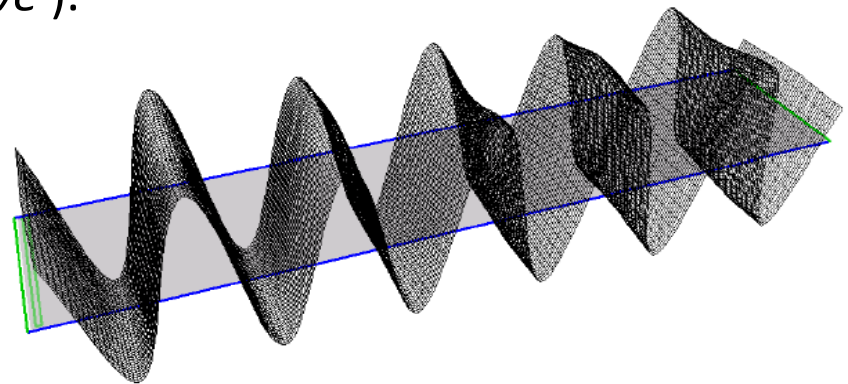
- Pendahuluan
- Gelombang Datar dalam Ruang Bebas
- Polarisasi Gelombang
- Vektor Poynting dan Tinjauan Daya

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

Pendahuluan

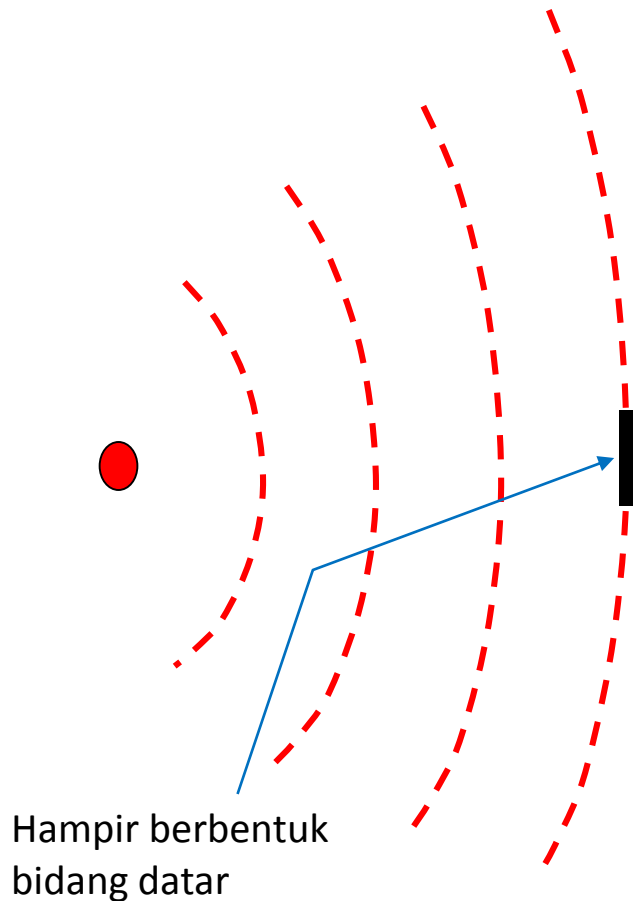


- Gelombang adalah suatu fenomena alamiah yang terjadi dalam dimensi ruang dan waktu. Gelombang dapat diperhatikan sebagai 'gangguan' yang merambat dengan kecepatan tertentu.
- Jika gangguan tersebut merambat ke satu arah, maka disebut sebagai gelombang 1D. Contohnya adalah gelombang datar (*plane wave*).



Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

Pendahuluan



- Gelombang EM yang dipancarkan suatu sumber akan merambat ke segala arah.
- Jika jarak antara pengirim dan penerima sangat jauh ($d \gg \lambda$), maka sumber akan dapat dianggap sebagai sumber titik dan muka gelombang akan berbentuk suatu bidang datar.
- Muka gelombang adalah titik-titik yang memiliki fasa yang sama.
- Amplitude medan pada bidang muka gelombang untuk medium propagasi yang serbasama adalah bernilai sama pula, karena itu disebut sebagai gelombang uniform (serbasama)

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Persamaan gelombang dapat diturunkan dari persamaan Maxwell. Untuk udara ataupun vakum persamaan gelombang akan ditentukan oleh parameter μ_0 dan ε_0 .
- Persamaan Maxwell dalam medium udara dan bebas sumber adalah sbb:

$$\vec{\nabla} \bullet \varepsilon \vec{\mathbf{E}} = 0$$

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{\mathbf{H}} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}} = -\frac{\partial}{\partial t} (\mu_0 \vec{\mathbf{H}})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{H}} = \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_0 \vec{\mathbf{E}})$$

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Medan listrik dan medan magnet dianggap dapat dipisah bagian ruang dan waktu yang berbentuk eksponential kompleks, sehingga

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \text{Re}\{\vec{E}_s(\vec{r})e^{j\omega t}\}$$

$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \text{Re}\{\vec{H}_s(\vec{r})e^{j\omega t}\}$$

- Persamaan Maxwell menjadi

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{E}_s = 0$$

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{H}_s = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}_s = -j\omega\mu_0 \vec{H}_s$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}_s = j\omega\epsilon_0 \vec{E}_s$$

E_s dan H_s disebut sebagai bentuk fasor dari medan listrik E dan medan magnet H riil time.

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Satu set persamaan Maxwell tersebut disederhanakan menjadi:

$$\nabla^2 \vec{\mathbf{E}}_s + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \vec{\mathbf{E}}_s = 0$$

$$\nabla^2 \vec{\mathbf{H}}_s + \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \vec{\mathbf{H}}_s = 0$$

- Solusi persamaan Helmholtz di atas yang sederhana adalah dengan meninjau medan listrik terlebih dahulu

$$\nabla^2 \vec{\mathbf{E}}_s = -\beta^2 \vec{\mathbf{E}}_s \quad (1)$$

dengan $\beta = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{\omega}{c}$

dan c adalah kecepatan cahaya di udara ($3 \cdot 10^8$ m/s)

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Jika dianggap E tidak berubah terhadap x dan y maka solusi persamaan (1) adalah

$$\vec{E}_s = \vec{E}_{01}e^{-j\beta z} + \vec{E}_{02}e^{+j\beta z}$$

- Suku pertama di ruas kanan menyatakan gelombang berjalan dalam arah sumbu z positif dengan amplitudo E_{01}
- Suku kedua di ruas kanan menyatakan gelombang berjalan dalam arah sumbu z negatif dengan amplitudo E_{02}

\vec{E}_{01} dan \vec{E}_{02} menyatakan amplitudo gelombang, sedangkan arah vektornya menyatakan arah getaran atau polarisasi

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Jika gelombang E di atas merambat dalam arah sumbu z positif dan arah getarnya sepanjang sumbu x maka fasor gelombang E tersebut ditulis:

$$\vec{E}_s = E_0 e^{-j\beta z} \hat{a}_x$$

- Gelombang E bentuk waktunya adalah:

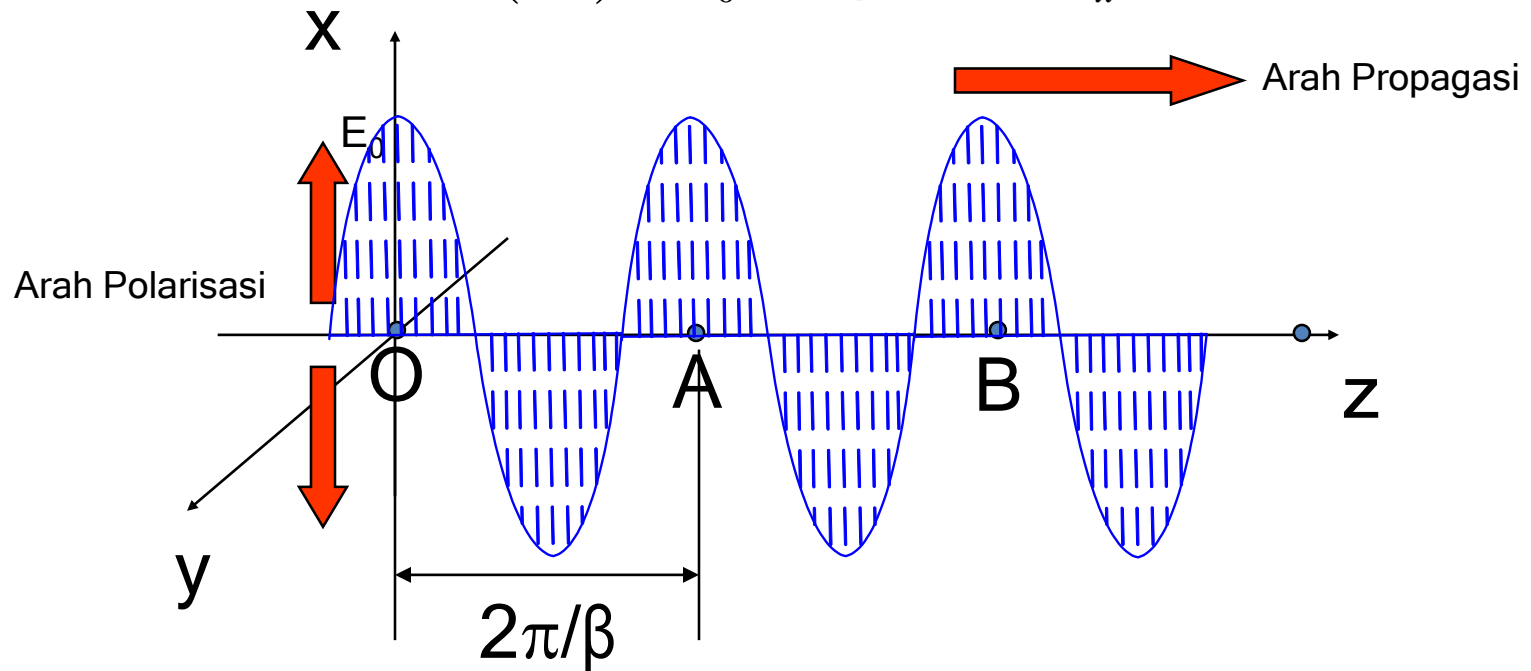
$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \text{Re}\left\{\vec{E}_s(\vec{r})e^{j\omega t}\right\} = \text{Re}\left\{E_0 e^{j(\omega t - \beta z)} \hat{a}_x\right\} = E_0 \cos(\omega t - \beta z) \hat{a}_x$$

Selanjutnya β disebut sebagai konstanta propagasi (rad/m) dan ω adalah frekuensi sudut (rad/s).

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Ilustrasi gelombang medan listrik yang merambat sepanjang sumbu z positif dengan arah getar (polarisasi) sepanjang sumbu x.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\beta z - \omega t) \hat{a}_x$$



Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Jika medan listrik diketahui, maka medan magnet dapat dicari dengan hubungan :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}_s = -j\omega\mu_0 \vec{H}_s$$

$$\begin{vmatrix} \hat{a}_x & \hat{a}_y & \hat{a}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_s & 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{\partial E_s}{\partial z} \hat{a}_y = -j\omega\mu_0 \vec{H}_s \quad \Rightarrow \quad \vec{H}_s = -\frac{1}{j\omega\mu_0} \frac{\partial E_s}{\partial z} \hat{a}_y$$

η = impedansi intrinsik

$$\eta = \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \, \Omega \quad \vec{H} = \frac{E_0}{\eta} \cos(\omega t - \beta z) \hat{a}_y$$

Gelombang Datar dalam Ruang Bebas

- Ilustrasi medan listrik E dan medan magnet H

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \cos(\beta z - \omega t) \hat{a}_x$$

$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \frac{E_0}{\eta} \cos(\beta z - \omega t) \hat{a}_y$$

