

## II.3 Teori Pendukung

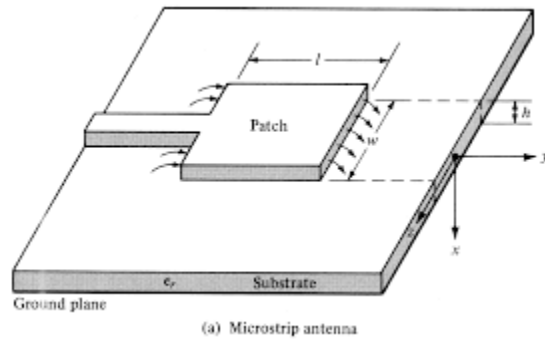
Antena merupakan perantara dua media yaitu ruang bebas dengan saluran transmisi. Antena memiliki dua fungsi diantaranya, *matching device* berarti Antena berfungsi untuk menyesuaikan sifat-sifat atau karakteristik gelombang elektromagnetik di ruang bebas dengan gelombang elektromagnetik di saluran transmisi. Serta antena memiliki fungsi sebagai *directional device* berarti antena menyearahkan gelombang elektromagnetik ke arah yang diperlukan atau diinginkan. Berikut ini akan dijelaskan lebih mendalam mengenai antena mikrostrip, antena mikrostrip *patch* rectangular, pencatuan *feed line*, dan parameter antena mikrostrip yang didapatkan dari beberapa sumber informasi.

### II.3.1 Antena

Webster's Dictionary mendefinisikan antena adalah "a usually metallic device (as a rod or wire) for radiating or receiving radio waves." Selain itu IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE Std 145-1983)\* mengartikan antena sebagai "a means for radiating or receiving radio waves." [5] Dari kedua definisi di atas, maka dapat diambil kesimpulan antena merupakan suatu bagian transisi yang berada di antara gelombang terbimbing dan gelombang bebas. Alat pembimbing (saluran transmisi) bisa terdiri dari saluran koaksial atau pipa berongga, yang berfungsi untuk membawa daya elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena, begitupun dari antena ke penerima.

### II.3.2 Antena Mikrostrip

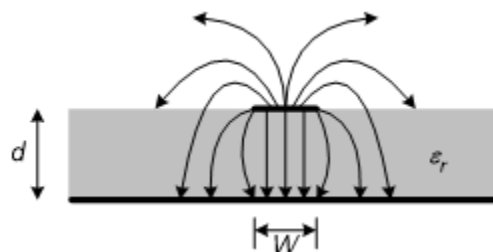
Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas ground plane yang diantaranya terdapat bahan dielektrik seperti tampak pada Gambar II.1. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk dipabrikasi, dengan sifatnya yang fleksibel sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain. Karena sifat yang dimilikinya, antena mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: bandwidth yang sempit, gain dan directivity yang kecil, serta efisiensi rendah.



Gambar II.1 Struktur Antena Mikrostrip

### II.3.2.1 Fringing Effect

Pada dasarnya antena mikrostrip dapat dimodelkan menjadi suatu saluran yang terdiri dari 2 buah konduktor dan terdapat substrat di antaranya. Konduktor tersebut yaitu patch dan groundplane, dan substrat yang memisahkan 2 konduktor tersebut memiliki konstanta dielektrik  $\epsilon_r$ . Konduktor pada saluran mikrostrip tidak bersifat memagnetisasi secara sempurna, dikarenakan dimensi antena mikrostrip berbentuk *rectangular*, sehingga bidang di tepi *patch* terbatas pada panjang dan lebar *patch*. Akibat hal tersebut, medan elektromagnetik yang muncul tidak sepenuhnya tegak lurus terhadap *patch* maupun *groundplane*, yang disebut *fringing effect*. Fringing effect ini menyebabkan sebagian medan elektromagnetik meradiasi ke udara dan sebagian ke substrat seperti yang ditunjukkan Gambar II.2. Oleh karena itu terdapat 2 jenis dielektrik yang melingkupi saluran mikrostrip yaitu dielektrik dengan bahan udara ( $\epsilon_r = 1$ ) dan substrat yang memiliki dielektrik ( $\epsilon_r > 1$ ). Dengan demikian saluran mikrostrip ini secara keseluruhan dapat dilihat sebagai sebuah saluran dengan dielektrik homogen yang besarnya  $1 < \epsilon_{\text{reff}} < \epsilon_r$ . Konstanta dielektrik ini disebut konstanta dielektrik efektif.



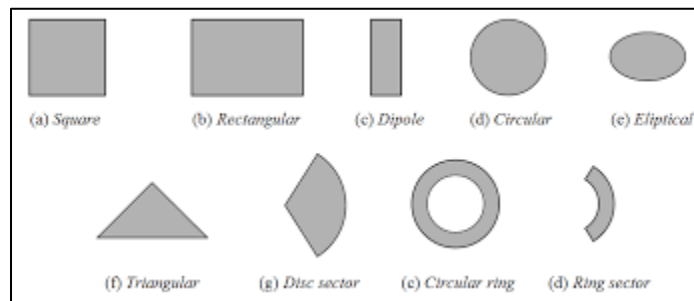
Gambar II.2 Fringing Effect

### II.3.2.2 Struktur Antena Mikrostrip

Berikut struktur pembentuk antena mikrostrip :

a. Patch

Pada umumnya patch terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga atau dan mempunyai beberapa bentuk seperti, persegi panjang (rectangular), persegi (square) , lingkaran (circular), elips (elliptical), dan segitiga (triangular), atau dapat pula dikombinasikan bentuknya. Fungsi dari patch ini adalah untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Patch dan saluran pencatu biasanya terletak diatas substrat dan ground plane. Tebal patch dibuat sangat tipis ( $t \ll \lambda_0$ ;  $t$  = ketebalan patch) dengan  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang di ruang bebas. Patch dan ground plane dipisahkan oleh bahan dielektrik yang disebut substrat. [5]



Gambar II.3 Bentuk-bentuk patch mikrostrip

Pada tugas akhir ini patch yang digunakan yaitu berbentuk rectangular, maka parameter yang dicari yaitu panjang dan lebar patch. Cara untuk mencari lebar patch adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{c}{2f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad \text{II.1}$$

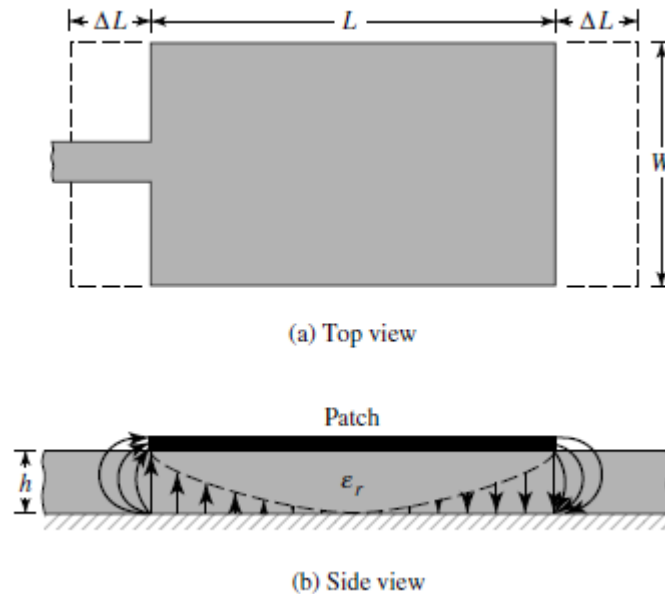
Dengan :

$c$  = kecepatan cahaya =  $3 \cdot 10^8$  m/s

$f_c$  = frekuensi tengah

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

Sedangkan untuk mencari panjang patch, karena adanya efek *fringing*, dimensi patch secara elektrik ( $L_{\text{eff}}$ ) lebih besar dibanding dimensi secara fisiknya ( $L$ ). [5] Maka dari itu, untuk mengetahui dimensi secara fisiknya, panjang efektif harus dikurangi panjang efek *fringing* ( $\Delta L$ ) di kedua sisinya.



Gambar II.4 Panjang Rectangular Patch Secara Fisikal dan Efektif

Untuk menghitung panjang patch, digunakan rumus berikut :

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad \text{II.2}$$

Dengan :

$L$  = panjang patch, secara fisik

$L_{\text{eff}}$  = panjang efektif patch, dimana termasuk efek *fringing*

$\Delta L$  = panjang efek *fringing*

Rumus  $L_{\text{eff}}$  yaitu :

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad \text{II.3}$$

Dengan :

$\epsilon_{\text{reff}}$  = konstanta dielektrik efektif

Untuk frekuensi rendah konstanta dielektrik efektif pada dasarnya konstan. Di tingkat menengah frekuensi nilainya mulai meningkat secara monoton dan akhirnya mendekati nilai-nilai konstanta dielektrik substrat. Nilai awal (pada frekuensi rendah) konstanta dielektrik efektif disebut sebagai nilai statis, dengan rumus :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right] \quad \text{II.5}$$

Dengan :

W = lebar patch

h = ketebalan substrat dielektrik

Sedangkan rumus untuk menghitung  $\Delta L$  yaitu :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad \text{II.4}$$

#### b. Substrat Dielektrik

Substrat terbuat dari bahan-bahan dielektrik. Substrat ini berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antenna. Ketebalan substrat dielektrik berpengaruh terhadap parameter antenna lainnya yaitu pada bandwidth. Jika tebal substrat bertambah maka bandwidthnya juga akan bertambah.

#### c. Bidang Tanah

Bidang tanah biasanya terbuat dari bahan konduktor sama dengan patch. Dimensi bidang tanah akan sama dengan substrat tetapi ketebalannya berbeda. Fungsi bidang tanah adalah sebagai ground pada antenna.

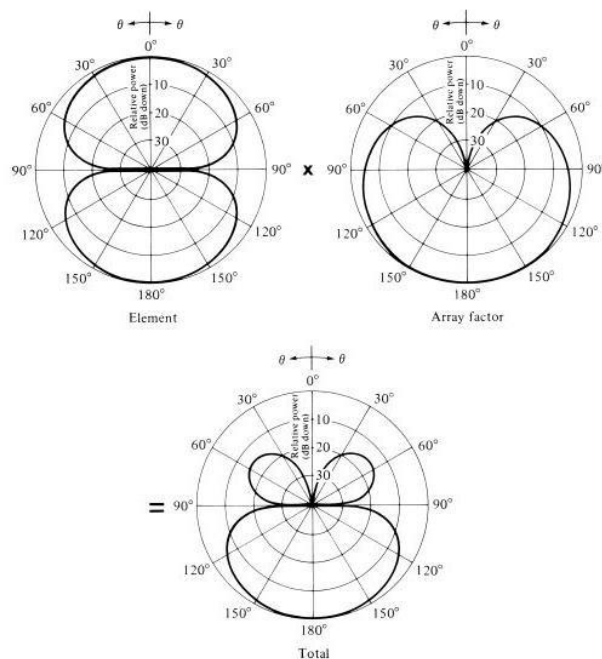
### II.3.3 Antena Mikrostrip Array

Biasanya antenna elemen tunggal memiliki gain yang rendah. Pada banyak aplikasi diperlukan antenna dengan keterarahan yang baik dan perolehan gain yang tinggi. Kebutuhan karakteristik ini dapat dipenuhi dengan menyusun antenna dengan beberapa konfigurasi. Antena susunan ini sering disebut sebagai antenna array.

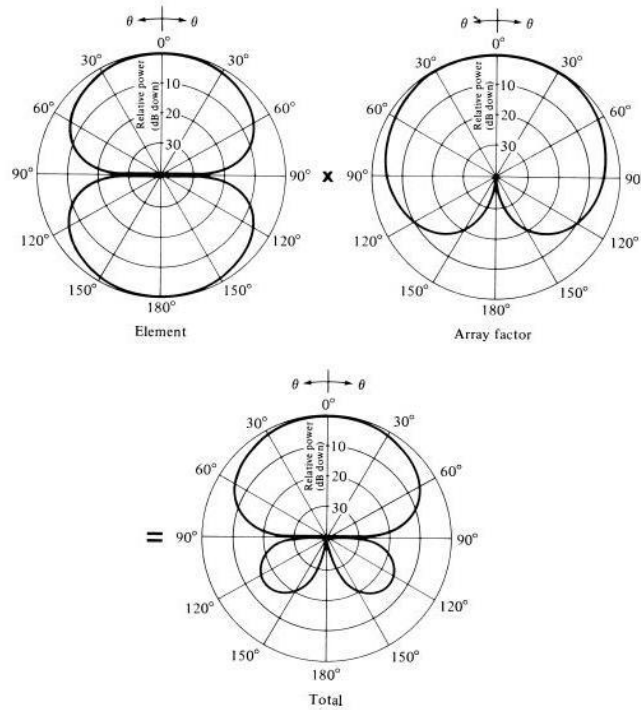
Antena array merupakan antenna berjumlah dua atau lebih elemen yang disusun sedemikian rupa hingga membentuk pola radiasi tertentu. [5] Dari pola radiasi yang dibentuk, maka akan terlihat direktivitas antenna lebih tinggi, sehingga gain yang didapatkan akan lebih besar pula. Medan total dari antenna array ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk mendapatkan pola radiasi antenna array, selain membutuhkan array factor, dibutuhkan juga element factor, yang dapat dilihat seperti berikut:

$$E(\text{total}) = [E(\text{single element at reference point})] \times [\text{array factor}] \quad \text{II.5}$$

Bentuk di atas disebut pattern multiplication, yaitu pola radiasi total yaitu hasil dari perkalian antara single element factor dengan array factor. Untuk ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar II.10 dan Gambar II.11.



Gambar II.5 Ilustrasi pattern multiplication pada 2 elemen array infinitesimal horizontal dipole dengan  $\alpha = +90^\circ$  dan  $d = \lambda/4$



Gambar II.6 *Pattern multiplication* dengan  $\alpha = -90^\circ$  dan  $d = \lambda/4$

Dapat dilihat dari Gambar II.4 dan Gambar II.5 menunjukkan bahwa hasil pola radiasi antenna array adalah hasil perkalian dari pola radiasi elemen tunggal dengan array factor dari antenna array tersebut. Array factor antenna ini dipengaruhi oleh jumlah elemen, jarak antar elemen, beda fasa, amplitudo, dan jenis susunan (pola array) antenna. Array factor ini akan mempengaruhi bentuk pola radiasi antenna array yang dirancang. Dikarenakan untuk tugas akhir yang dibuat ini amplitudo yang digunakan untuk setiap elemen sama, maka menggunakan dasar teknik Uniform Excited Equally Spaced Linear Arrays (UEESLAS).

Dengan amplitudo yang sama, yaitu  $A_0 = A_1 = A_2 = \dots$  maka array factor dari antenna linear tersebut dapat dicari menggunakan formula di bawah ini :

$$AF_N = A_0 \frac{\sin(\frac{N\varphi}{2})}{\sin(\frac{\varphi}{2})} \quad \text{II.6}$$

Dengan :  $\varphi = \beta d \cos \theta + \alpha$

$\varphi$  : sudut azimuth

$\beta$  : koefisien gelombang

$d$  : jarak antar elemen antenna

$\theta$  : sudut elevasi

$\alpha$  : beda fasa antar elemen

$N$  : jumlah elemen antenna

Sedangkan untuk mencari array factor bagi antenna array planar dapat dicari dengan :

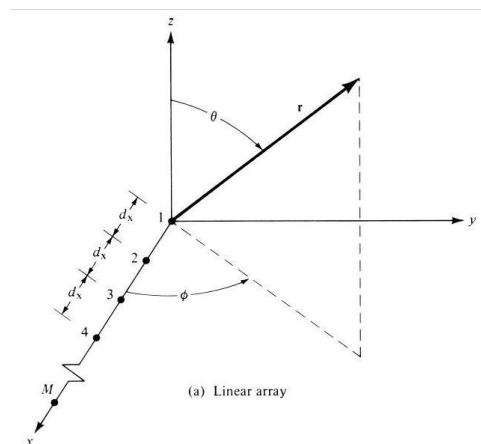
$$AF_n(\theta, \phi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right\}$$

where

$$\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x$$
$$\psi_y = kd_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y$$

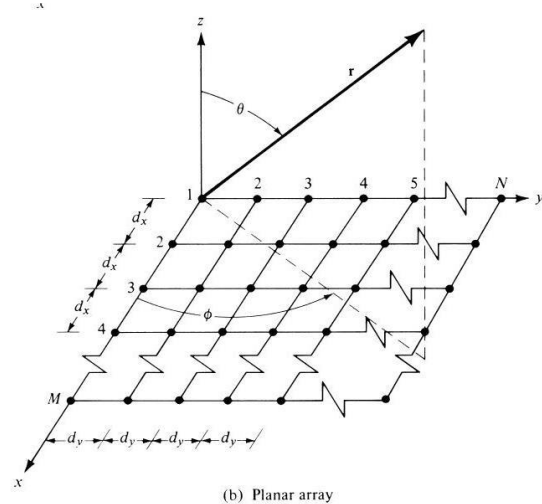
II.7

Dari persamaan II.7 terdapat nilai N dan M, nilai N yaitu menunjukkan jumlah elemen dalam baris, sedangkan nilai M menunjukkan jumlah elemen dalam kolom. Untuk ilustrasi dari array linear dan array planar dapat dilihat pada Gambar II.8 dan II.9 berikut :



Gambar II.7 Linear array





Gambar II.8 Planar array

Gambar II.8 menunjukkan sumber titik yang mengilustrasikan sebagai elemen antenna dalam baris dan hanya 1 kolom, yaitu linear array. Lalu untuk Gambar II.9 menunjukkan sumber titik yang mengilustrasikan sebagai elemen antenna dalam baris dan kolom, yaitu planar array.

#### II.3.4 Parameter Antena Mikrostrip

Parameter antenna merupakan bagian yang sangat penting untuk sebuah antenna karena hal ini menunjukkan performa dari sebuah antenna. Berikut merupakan parameter – parameter yang ada pada antenna :

##### a. Return Loss

Return loss ialah besarnya daya yang hilang dipantulkan ke arah sumber, yang muncul akibat antara beban dan saluran transmisi tidak match. Return loss ini dipengaruhi oleh perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan tegangan input, atau tegangan yang berasal dari sumber atau yang disebut sebagai faktor refleksi. Hubungan antara antenna refleksi dengan return loss adalah sebagai berikut:

$return\ loss = 20 \log (\Gamma)$	II.8
-----------------------------------	------

Sedangkan untuk mencari koefisien refleksi adalah sebagai berikut [13]:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad \text{II.9}$$

Dengan :

$Z_L$  = impedansi beban yang terhubung dengan saluran transmisi

$Z_o$  = impedansi antena

## **b. VSWR**

Voltage Standing Wave Ratio atau disingkat VSWR ialah perbandingan tegangan maksimum dan tegangan minimum yang berada pada suatu gelombang berdiri. VSWR ini menyatakan kecocokan antara saluran transmisi dengan antena. Saluran transmisi memiliki dua bagian gelombang tegangan, yaitu tegangan maksimum dan tegangan minimum. Jika perbandingan diantaranya menghasilkan 1, maka terjadi transfer daya maksimum. Teknik matching impedance, yaitu teknik yang bertujuan untuk mencocokkan antena dengan saluran transmisinya, sehingga perbandingannya mendekati 1. [3]

Rumus untuk menemukan nilai VSWR adalah:

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad \text{II.10}$$

Jika antena berada pada keadaan ideal, nilai VSWR = 1. Hal ini berarti tegangan yang ditransmisikan sama dengan tegangan yang dipantulkan, atau disebut juga keadaan matching impedance. Namun pada kenyataannya keadaan matching impedance ini sangat sulit didapatkan, dikarenakan selalu adanya pantulan – pantulan yang tidak terprediksi, maka VSWR yang ditoleransi yaitu bernilai  $VSWR \leq 2$ .

## **c. Gain**

Gain yaitu besaran yang memperhitungkan kemampuan atau efisiensi antena berdasarkan arah pancar antena tersebut. Gain antena (dalam arah tertentu) didefinisikan sebagai “rasio intensitas, dalam arah tertentu, terhadap intensitas radiasi yang akan didapat apabila daya yang diterima oleh antena terpancar secara isotropik. Intensitas radiasi yang sesuai dengan daya yang terpancar secara isotropik sama dengan daya yang diterima (input) oleh antena dibagi  $4\pi$ ”. Secara matematis, gain antena dapat ditulis dengan persamaan :

$$Gain = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input (accepted) power}} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\phi)}}{P_{in}}$$

$$\text{Gain} = \eta \times D \quad \text{II.11}$$

Dengan:

$\eta$  = Efisiensi

D = Direktivitas

#### d. Bandwidth

Bandwidth merupakan rentang frekuensi saat kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, polarisasi, beamwidth, polarisasi, gain, efisiensi, VSWR, return loss) memenuhi spesifikasi standar. Berikut ini merupakan cara mencari bandwidth :

$$\text{Bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad \text{II.12}$$

Dengan :

$f_1$  = frekuensi terendah

$f_2$  = frekuensi tertinggi

$f_c$  = frekuensi tengah

#### e. Direktivitas

Keterarahan (directivity) adalah perbandingan antara rapat daya maksimum pada berkas utama terhadap rapat daya rata – rata yang diradiasikan. Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Direktivitas} = \frac{U_m}{U_{mr}} = \frac{\text{intensitas radiasi maksimal suatu antenna}}{\text{intensitas radiasi maksimal antenna referensi}} \quad \text{II.13}$$

Dengan syarat  $U_{mr}$  merupakan intensitas radiasi maksimal antenna referensi dengan daya input yang sama. Intensitas radiasi rata – rata sama dengan kuantitas daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Direktivitas maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$D_0 = \frac{4\pi \times U_{max}}{P_{rad}} \quad \text{II.14}$$

Dengan :

D = keterarahan (directivity)

$D_0$  = keterarahan maksimum

$U_{\max}$  = intensitas radiasi maksimum

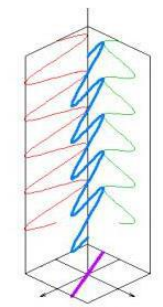
$P_{\text{rad}}$  = daya total radiasi

## f. Polarisasi

Polarisasi adalah arah saat medan listrik dari gelombang radio berosilasi saat menyebar melalui medium. Selain itu, polarisasi juga dapat diartikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antena pada suatu arah tertentu. Polarisasi terbagi menjadi polarisasi linear (linier), circular (melingkar), atau elliptical (elips).

### ➤ Polarisasi Linier

Polarisasi Linier terjadi apabila suatu gelombang bergerak menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki antena medan (magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu.

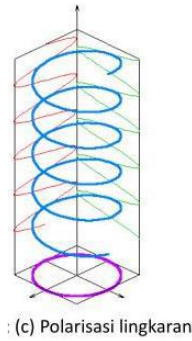


(a) Polarisasi linier ;

Gambar II.9 Polarisasi linier

### ➤ Polarisasi melingkar

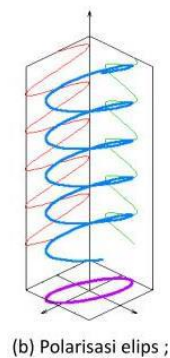
Polarisasi melingkar terjadi jika suatu gelombang bergerak menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (magnet) pada titik itu membentuk lingkaran sebagai fungsi waktu.



Gambar II.10 Polarisasi Melingkar

➤ Polarisasi elips

Polarisasi elips terjadi saat gelombang bergerak menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang.



Gambar II.11 Polarisasi Elips

**g. Impedansi input**

Impedansi input merupakan impedansi yang disebabkan oleh terminal pada antenna tersebut, atau perbandingan antara tegangan dan arus pada terminalnya. Impedansi input akan dipengaruhi oleh antenna-antenna lain atau obyek-obyek yang ada di sekitarnya. Untuk mempermudah pembahasan diasumsikan antenna terisolasi. Impedansi antenna terdiri dari bagian riil dan imajiner, yang dapat dinyatakan dengan :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$$

II.15

Resistansi input ( $R_{in}$ ) menyatakan tahanan disipasi. Daya dapat terdisipasi oleh dua cara, yaitu karena panas pada struktur antenna yang berkaitan dengan perangkat keras dan daya yang meninggalkan antenna dan tidak kembali (teradiasi). Reaktansi input ( $X_{in}$ ) menyatakan daya yang tersimpan pada medan yang dekat dari antenna.

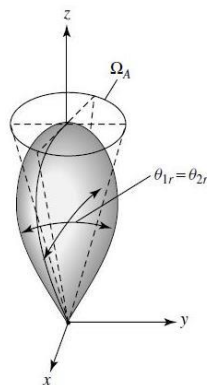
$Z_{in}$  ialah perbandingan antara jumlah tegangan (tegangan masuk dan tegangan refleksi ( $V$ ) terhadap jumlah arus ( $I$ ) pada setiap titik  $z$  pada saluran, berbeda dengan karakteristik impedansi saluran ( $Z_0$ ) yang berhubungan dengan tegangan dan arus pada setiap gelombang.

## h. Pola Radiasi

Pola radiasi antenna adalah gambaran grafis arah pancar antenna dalam koordinat ruang. [5] Pola radiasi dapat diukur dengan cara menggerakkan antenna secara horizontal dan vertikal dengan sudut/jarak yang konstan, untuk dilihat responnya dalam bentuk decible (dB). Gambaran grafis pola radiasi antenna, baik dalam bentuk 2 dimensi, maupun 3 dimensi menunjukkan besar daya dan arah pancar dari antenna yang sedang diukur. Respon daya yang terukur dinormalisasi terlebih dahulu dengan daya terbesar yang muncul sebelum dibuat bentuk plot radiasinya. Berdasarkan arah pancar antenna, pola radiasi antenna ada 3 macam, yaitu :

### 1. Pola radiasi direksional

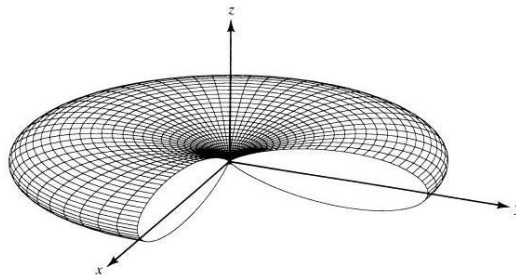
Pola radiasi direksional adalah arah pancaran antenna yang memiliki sudut pancar yang kecil dan lebih terarah. Antenna yang memiliki pola radiasi direksional bersifat narrow beamwidth, yang pancaran antenanya terkumpul dan lebih fokus sehingga jarak pancarnya jauh namun tidak dapat menjangkau area yang luas. Umumnya antenna yang memiliki pola radiasi direksional ini digunakan untuk komunikasi point to point, ..atau multiple point. Contoh antenna dengan pola radiasi direksional adalah antenna mikrostrip, antenna yagi, dan antenna sektoral.



Gambar II.12 Pola radiasi direksional [5]

## 2. Pola radiasi omnidireksional

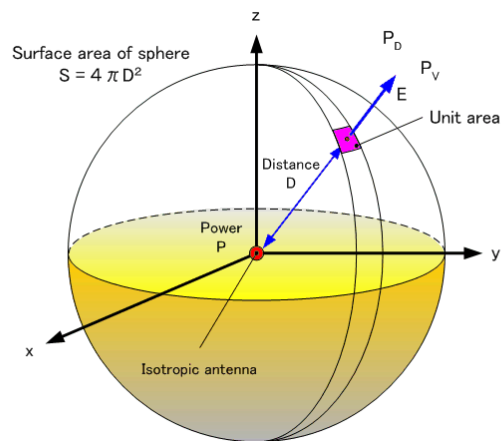
Pola radiasi omnidireksional adalah arah pancaran antenna ke segala arah dengan daya yang sama besar. Antena yang memiliki pola radiasi omnidireksional ini dapat menjangkau area yang luas, dengan memfokuskan daya pancarnya secara horizontal (dengan mengabaikan pola pemancaran ke atas dan ke bawah) sehingga antenna ini dapat diletakkan di tengah – tengah base station. Antena ini digunakan untuk komunikasi point to multipoint.



Gambar II.13 Pola radiasi omnidireksional [5]

## 3. Pola radiasi isotropis

Pola radiasi isotropis adalah arah pancaran antenna yang energinya sama besar pada seluruh bidang. Jika dimunculkan dalam bentuk tiga dimensi, pola radiasi antenna isotropis berbentuk seperti bola. Walaupun antenna dengan pola radiasi isotropis ini sangat ideal dan tidak dapat dicapai, namun dapat dijadikan sebagai referensi dalam pengukuran antenna lain.



Gambar II.14 Pola radiasi isotropis

