

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 1.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian oleh P. Nepa, F. Cavallo, M. Bonaccorsi, M. Aquilano, M.C. Carrozza, dan P. Dario yang berjudul “*Experimetal Analysis of RSSI-Based Indoor Location Systems with WLAN Circularly Polarized Antennas*” meneliti tentang antena polarisasi *circular* yang digunakan dalam modul ZigBee 2.4 GHz untuk mengevaluasi peningkatan kinerja RSSI. Sensor nirkabel berbasis Zigbee digunakan untuk mengukur RSSI pada jarak jauh di lingkungan dalam ruangan. Selain itu penelitian ini juga membandingkan kinerja antena berpolarisasi *circular* (CP) dengan antena berpolarisasi linier (LP) dalam lingkungan yang sama. Dari hasil yang diperoleh penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa pada LP antena menunjukkan kinerja lokalisasi terburuk karena nilai RSSI *spatial fluktuations* yang tinggi dan ketika menggunakan LP antena menghasilkan *fading* yang dihasilkan dari interferensi yang dipantulkan dari dinding, langit-langit dan lantai. Sedangkan ketika menggunakan CP antena osilasi berkurang dan menghasilkan nilai RSSI fluktuasi yang kecil. Dengan menggunakan CP antena pengukuran RSSI dalam lingkungan *indoor* menunjukkan bahwa *multipath* berkurang secara signifikan [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Gaurav Kumar Pandey, Hari Shankar Singh, Pradutt Kumar Bharti dan Manoj Kumar Meshram pada tahun 2005 yang berjudul “*Design of Polarization Insentive Triple Band Artificial Magnetic Conductor*” meneliti tentang desain polarisasi dengan menggunakan konduktor magnetik buatan (AMC). Pada dasarnya permukaan AMC meniru sifat-sifat PMC (*Perfect Magnetic Conductor*) yang tidak ada di alam. Karena sifat-sifat ini ketika struktur AMC digunakan dengan antena maka akan meningkatkan karakteristik radiasi antena dengan ukuran yang ringkas, meningkatkan *gain*, meningkatkan pola radiasi dan berpolarisasi *circular*. Struktur AMC *triple band* ini disajikan untuk aplikasi seperti digunakan sebagai *ground plane* antena untuk meningkatkan karakteristik radiasi. Struktur AMC yang diusulkan menunjukkan karakteristik fase refleksi  $\pm$

90° dalam kisaran 3.3 GHz – 3.9 GHz (Band 1), 7.2 GHz – 7.7 GHz (Band 2), dan 11.6 GHz – 12.7 GHz (Band 3) [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Sotaro Maruyama dan Takeshi Fukusako pada tahun 2014 yang berjudul “*An Interpretative Study on Circularly Polarized Patch Antenna using Artificial Ground Structure*” meneliti mekanisme antena *patch* terpolarisasi *circular* menggunakan AGS. Untuk menghasilkan *axial ratio* 3 dB antena *patch* terpolarisasi *circular* menggunakan struktur AG dengan sel unit berbentuk persegi panjang. Kebelihan struktur ini yaitu memiliki karakteristik broadband di kedua impedansi dan AR 3 dB meskipun strukturnya *low-profile*. Antena dengan menggunakan AGS menunjukkan karakteristik *broadband* di kedua impedansi dan AR yang lebih dari 20% dan 40% [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Takeshi Fukusako, Ryota Nobe dan Sotaro Maruyama pada tahun 2012 yang berjudul “*Effect of Ground Plane on Circularly Polarized Microstrip Antenna using Artificial Ground Structure*” meneliti tentang *broadband* antena mikrostrip yang berpolarisasi *circular* dengan menggunakan struktur AG (*Artificial Ground*) pada *ground plane*. Struktur AG memiliki bentuk strip persegi panjang untuk menghasilkan polarisasi *circular* dan berjalan sebagai AMC (*Artificial Magnetic Conductor*). Dengan menggunakan struktur ini hasil yang diukur dari *S11 bandwidth* adalah 55.33% (4.52 - 7.42 GHz) dan *axial ratio bandwidth* adalah 29.50% (5.39 - 7.16 GHz) yang keduanya sesuai dengan hasil simulasi [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Teruhisa Nakamura dan Takeshi Fukusako pada tahun 2011 yang berjudul “*Broadband Design of Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna Using Artificial Ground Structure With Rectangular Unit Cells*” meneliti tentang antena mikrostrip yang berpolarisasi *circular* dengan sudut terpotong diatas struktur AG menggunakan *unit cell* atau sel-sel persegi panjang sebagai *reflector*. Dengan menggunakan struktur seperti itu maka polarisasi *circular* dapat dicapai karena adanya hubungan dengan lebar *patch* dan lebar *unit cell* yang berbeda satu sama lain. Dengan menggunakan struktur ini hasilnya menunjukkan *return loss* 10 dB *bandwidth* 48% dan *axial ratio* 3 dB *bandwidth* 20.4%. Hasil yang diukur dengan sesuai dengan hasil simulasi [9].

Keuntungan menggunakan antena berpolarisasi *circular* yaitu hasil pancaran dapat diterima dengan baik oleh antena penerima yang berpolarisasi vertikal maupun horizontal. Daya dapat menerima lebih maksimal dan antena menjadi lebih sensitif. Antena *dipole* dengan struktur AG berpolarisasi *circular* memiliki keuntungan seperti struktur yang sederhana dan berdimensi kecil sehingga cocok untuk dijadikan antena pengganti [10]. Modul Xbee S2 Pro sendiri dipilih karena memiliki keuntungan seperti memiliki daya yang lebih besar, jangkauan komunikasinya lebih luas, lebih handal dan terhindar dari interferensi.

## 1.2 DASAR TEORI

Pada bab ini berisi penjelasan tentang Xbee S2 Pro, antena, parameter antena (*gain*, *bandwidth*, impedansi *input*, pola radiasi polarisasi, VSWR, *return loss* dan *axial ratio*), jenis antena berpolarisasi *circular*, antena *dipole* dan AMC (*Artificial Magnetic Conductor*).

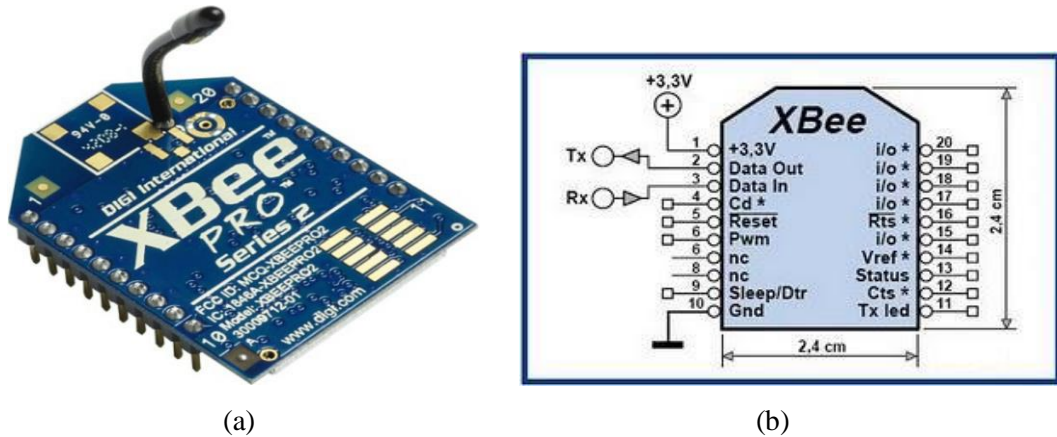
### 1.2.1 Xbee S2 Pro

Xbee S2 Pro merupakan salah satu contoh modul RF yang bekerja menggunakan teknologi DSSS. Modul RF ini merupakan radio *frequency transceiver* yaitu mendukung komunikasi secara *full duplex*. Xbee S2 Pro bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dengan menggunakan standart IEEE 802.15.4. Radio *frequency* ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari RF *receiver* dan RF *transmitter* dengan *interface serial UART asynchronous*. Xbee S2 Pro berfungsi sebagai protokol komunikasi nirkabel. Perangkat *wireless* yang membutuhkan daya rendah cocok untuk implementasi pada jaringan sensor nirkabel karena harganya yang relatif murah. Modul ini dapat digunakan untuk beberapa aplikasi pengiriman data sensor dan penentuan besarnya kuat sinyal yang diterima di sisi penerima yang dapat dijadikan referensi jarak antara sisi kirim dan sisi terima. Modul ini menyajikan kemampuan untuk pengiriman data antar perangkat dengan kemampuan kisaran jarak yang bervariasi tergantung pada kondisi dan tempat. Spesifikasi dari modul Xbee S2 Pro ditunjukkan pada tabel 2.1 [2].

**Tabel 2.1. Spesifikasi Modul Xbee S2 Pro [11]**

<b>Specification</b>	
<b>Xbee S2 Pro</b>	
<b>Performance</b>	
<i>Indoor/urban range</i>	<i>Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant</i>
<i>Outdoor RF line-of-sight range</i>	<i>Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international range</i>
<i>Transmit power output</i>	<i>50 mW (+17 dBm) 10 mW (+10 dBm) for international variant</i>
<i>RF data rate</i>	<i>250,000 b/s</i>
<i>Data throughput</i>	<i>Up to 35000 b/s (see transmission, addressing, and routing)</i>
<i>Serial interface data rate (software selectable)</i>	<i>1200 b/s – 1 Mb/s (non-standard baud rates also supported)</i>
<i>Receiver sensitivity</i>	<i>-102 dBm</i>
<b>General</b>	
<i>Operating frequency band</i>	<i>ISM 2.4 GHz</i>
<i>Dimensions</i>	<i>0.960 x 1.297 (2.438 cm x 3.294 cm)</i>
<i>Operating temperature</i>	<i>-40 to 85°C (industrial)</i>
<i>Antena option</i>	<i>Integrated wire whip antenna, embedded PCB antenna, RPSMA or U.FL connector</i>
<i>I/O interface</i>	<i>3.3 V CMOS UART (not 5 V tolerant), DIO, ADC</i>
<b>Antenna</b>	
<i>Type</i>	<i>Various Type :</i> <i>Dipole 2.1 dBi</i> <i>Chip Antenna -1.5 dBi</i> <i>Attached Monopole Whip 1.5 dBi</i> <i>Integral PCB Antenna -0.5 dBi</i>

Bentuk fisik dan konfigurasi pin Xbee S2 Pro ditunjukkan pada gambar 2.1.

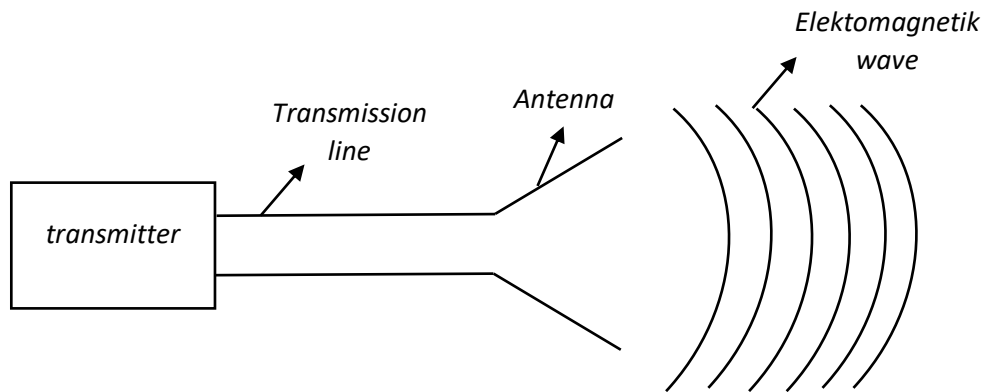


**Gambar 2.1.** (a) Bentuk Fisik Xbee S2 Pro [12] (b) Konfigurasi Pin Xbee S2 Pro [2]

Perangkat ini memiliki 20 pin dengan fungsi yang berbeda-beda. Namun hanya 6 pin saja yang digunakan seperti pin VCC, GDN, DOUT, DIN, RESET, dan PWMO/RSSI. Pin VCC dan GDN merupakan tegangan suplai. Pin DOUT merupakan pin transmit (TX). Pin DIN merupakan pin *receive* (RX). Pin RESET merupakan pin reset modul Xbee S2 Pro. Dan yang terakhir adalah pin PWMO/RSSI merupakan indikator bahwa ada penerimaan data yang biasanya dihubungkan ke led yang di-*drive* oleh transmitor. Untuk mengaktifkan Xbee dibutuhkan *supply* tegangan sebesar 3.3 V. Pin-pin untuk mengirim dan menerima data ada di pin 2 sebagai pin data *out* (TX) dan pin 3 sebagai data *in* (RX) [2].

### 1.2.2 Antena

Antena merupakan perangkat yang dapat berfungsi sebagai penerima atau pengirim. Sebagai penerima, antena dapat menerima energi elektromagnetik dari ruang bebas. Sedangkan sebagai pengirim, antena dapat mengirimkan atau melepaskan energi elektromagnetik ke ruang bebas. Dalam beberapa kasus, antena dapat berfungsi sebagai penerima dan pengirim.



**Gambar 2.2. Proses Antena Pemancar [4]**

Gambar 2.2. menggambarkan proses antena pemancar. Seperti yang ditunjukkan, informasi (suara, gambar, atau data) diproses dalam radio transmitter dan kemudian sinyal output dari transmitter menyebar di sepanjang saluran transmisi sebelum akhirnya dipancarkan oleh antena. Proses antena penerima yaitu kebalikan dari antena pemancar [4].

Antena adalah elemen penting yang ada pada setiap sistem telekomunikasi tanpa kabel (nirkabel/*wireless*), tidak ada sistem telekomunikasi *wireless* yang tidak memiliki antena. Pemilihan antena yang tepat, perancangan yang baik dan pemasangan yang benar akan menjamin kinerja sistem tersebut. Antena merupakan sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetika [13].

### 1.2.3 Parameter Antena

Parameter antena merupakan bagian yang sangat penting, karena parameter antena berfungsi untuk menjelaskan kerja dari antena tersebut. Untuk itu diperlukan parameter-parameter antena yang akan memberikan informasi dari suatu antena yang akan dibuat. berikut ini merupakan definisi parameter-parameter antena yang berhubungan dengan penelitian ini.

#### 2.2.3.1 Gain

*Gain* merupakan salah satu parameter yang berfungsi untuk memperhitungkan efisiensi antena. *Gain* antena (dalam arah tertentu) didefinisikan sebagai "rasio intensitas, dalam arah yang diberikan, dengan intensitas radiasi yang

akan diperoleh, jika daya diterima oleh antenna yang dipancarkan isotropik. Maka intensitas radiasi yang sesuai dengan daya yang diradiasikan isotropik sama dengan daya yang diterima (*input*) oleh antenna dibagi oleh  $4\pi$  [10].

Dalam berbagai kasus, kita sering menjumpai relative *gain*, yang didefinisikan sebagai “rasio *power gain* dalam arah tertentu untuk *power gain* antenna referensi dalam arah yang direferensikan”. *Input* daya harus sama untuk kedua antenna. Contoh antenna referensi biasanya *dipole*, *horn*, atau antenna lain yang nilai *gain*nya dapat dihitung. Dalam kebanyakan kasus, antenna referensi adalah sumber isotropik *lossless*. Nilai *gain* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini[10]

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{lossless isotropic source})} \quad (2.1)$$

Dimana  $G$  : *gain*

$P_{in}$  : total daya *input*

$U(\theta, \phi)$ : intensitas radiasi

Ketika arah tidak disebutkan, penguatan daya biasanya diambil ke arah radiasi maksimum [10].

Untuk mengetahui total daya radiasi ( $P_{rad}$ ) terkait ke total daya *input* ( $P_{in}$ ) dapat menggunakan persamaan berikut [10]

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.2)$$

dimana  $P_{rad}$  : total daya radiasi

$e_{cd}$  : efisiensi radiasi antenna

$P_{in}$  : total daya *input*

Menurut Standar IEEE, “*gain* tidak termasuk kerugian yang timbul dari ketidakcocokan impedansi (kerugian refleksi) dan ketidakcocokan polarisasi (kerugian)” [10].

Di sini kita mendefinisikan dua *gain* yaitu satu yang disebut sebagai *gain* ( $G$ ), dan yang lainnya disebut sebagai *gain absolut* ( $G_{abs}$ ) yang memperhitungkan kerugian refleksi/ketidakcocokan [10].

Menggunakan Persamaan (2.2) mengurangi Persamaan (2.1) menjadi [10]

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left( 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \right) \quad (2.3)$$

Dimana  $G(\theta, \phi)$  : *gain* pada orthogonal  $\theta$  dan  $\phi$

terkait dengan *directivity* dapat menggunakan persamaan oleh [10]

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (2.4)$$

Dimana  $D(\theta, \phi)$  : *directivity* pada orthogonal  $\theta$  dan  $\phi$

Dengan cara yang sama, nilai maksimum *gain* berhubungan dengan *directivity* maksimum oleh [10]

$$G_0 = G(\theta, \phi)|_{max} = e_{cd} D(\theta, \phi)|_{max} = e_{cd} D_0 \quad (2.4a)$$

Sementara Persamaan (2.2) tidak memperhitungkan kerugian dari elemen antenna itu sendiri, itu tidak memperhitungkan kerugian ketika elemen antenna terhubung ke saluran transmisi. Kerugian koneksi ini biasanya disebut sebagai refleksi kerugian (ketidakcocokan), dan mereka diperhitungkan dengan memasukan refleksi efisiensi (ketidakcocokan)  $e_r$ , yang terkait dengan koefisien refleksi. Dengan demikian kita dapat memperoleh *absolut*  $G_{abs}$  yang dibutuhkan untuk memperhitungkan kerugian refleksi/ketidakcocokan (karena koneksi dari elemen antenna ke saluran transmisi), dan itu bisa ditulis pada persamaan berikut [10]

$$\begin{aligned} G_{abs}(\theta, \phi) &= e_r G(\theta, \phi) = (1 - |\Gamma|^2)G(\theta, \phi) \\ &= e_r e_{cd} D(\theta, \phi) = e_0 D(\theta, \phi) \end{aligned} \quad (2.5)$$

dimana  $e_r$ : refleksi efisiensi

$e_0$  : efisiensi keseluruhan

$G_{abs}(\theta, \phi)$ : *gain absolut*

Demikian pula, *gain absolut* maksimum  $G_{0abs}$  dari Persamaan (2.6) terkait dengan *directivity* maksimum  $D_0$  oleh [10]

$$\begin{aligned} G_{0abs}(\theta, \phi) &= G(\theta, \phi)|_{max} = e_r G(\theta, \phi)|_{max} = (1 - |\Gamma|^2)G(\theta, \phi)|_{max} \\ &= e_r e_{cd} D(\theta, \phi)|_{max} = e_0 D(\theta, \phi)|_{max} = e_0 D_0 \end{aligned} \quad (2.5a)$$

Dimana  $D_0$ : total *gain* maksimum

Jika antenna dicocokkan dengan saluran transmisi, artinya, impedansi masukan antenna  $Z_{in}$  sama dengan impedansi karakteristik  $Z_0$  dari garis ( $|\Gamma| = 0$ ), maka kedua *gain* sama ( $G_{abs} = G$ ) [10].

Seperti *directivity*, kita dapat mendefinisikan *gain parsial* antenna untuk polarisasi dalam arah tertentu sebagai “bagian dari intensitas radiasi yang sesuai untuk polarisasi tertentu dibagi dengan intensitas radiasi total yang akan diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna terpancar isotropis”. Dengan ini definisi untuk



*gain parsial*, kemudian dalam arah tertentu, “total *gain* adalah jumlah dari *gain* parsial untuk dua polarisasi ortogonal”. Untuk sistem koordinat bola, total *gain* maksimum  $G_0$  untuk ortogonal  $\theta$  dan ortogonal  $\phi$  komponen antenna bisa ditulis seperti persamaan berikut [10]

$$G_0 = G_\theta + G_\phi \quad (2.6)$$

sementara sebagian *gain*  $G_\theta$  dan  $G_\phi$  dinyatakan sebagai [10]

$$G_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{P_{in}} \quad (2.7a)$$

$$G_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{P_{in}} \quad (2.7b)$$

dimana

$U_\theta$  = Intensitas radiasi dalam arah tertentu yang terkandung dalam  $E_\theta$  komponen lapangan

$U_\phi$  = Intensitas radiasi dalam arah tertentu yang terkandung dalam  $E_\phi$  komponen lapangan

$P_{in}$  = *Input* total (diterima) daya

Untuk banyak antenna praktis, rumus perkiraan untuk *gain* sesuai dengan persamaan untuk direktivitasnya yaitu [10]

$$G_0 \approx \frac{30.000}{\Theta_{1d}\Theta_{2d}} \quad (2.8)$$

Dalam prakteknya, setiap kali istilah "*gain*" digunakan, biasanya mengacu pada *gain* maksimum sebagaimana didefinisikan oleh Persamaan (2.4a) atau (2.5a) [10].

Biasanya *gain* diberikan dalam bentuk desibel bukan kuantitas berdimensi dari Persamaan (2.4a). Rumus konversi diberikan oleh persamaan berikut [10]

$$G_0(dB) = 10 \log_{10}[e_{cd} D_0 (dimensionless)] \quad (2.9)$$

### 2.2.3.2 Bandwidth

*Bandwidth* dari antenna didefinisikan sebagai "rentang frekuensi dengan performa antenna yang dapat menjadi beberapa karakteristik sesuai dengan spesifikasi standar". *Bandwidth* dapat dianggap sebagai rentang frekuensi pada sisi frekuensi tengah (frekuensi resonansi *dipole*) di mana karakteristik antenna (seperti

impedansi *input*, pola, *beamwidth*, polarisasi, sisi tingkat lobus, *gain*, arah sinar, efisiensi radiasi) berada dalam nilai yang diterima di frekuensi tengah. Untuk antena *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai rasio frekuensi atas-ke-bawah dari operasi yang dapat diterima [10].

Biasanya antena dirancang untuk beroperasi dalam rentang frekuensi yang telah ditentukan. *Bandwidth* antena biasanya ditentukan oleh rentang frekuensi dimana parameter utama dari antena memiliki beberapa syarat. Dalam frekuensi resonansi antena, impedansi *input* rentan gangguan. Frekuensi resonansi sering dipilih sebagai frekuensi tengah pada *bandwidth* antena. *Bandwidth* antena dapat dihitung dengan menggunakan tepi atas dan bawah dari rentang frekuensi yang diperoleh: [4]

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana

$f_1$  = Tepi bawah dari frekuensi yang diperoleh,

$f_2$  = Tepi atas rentang frekuensi yang diperoleh, dan

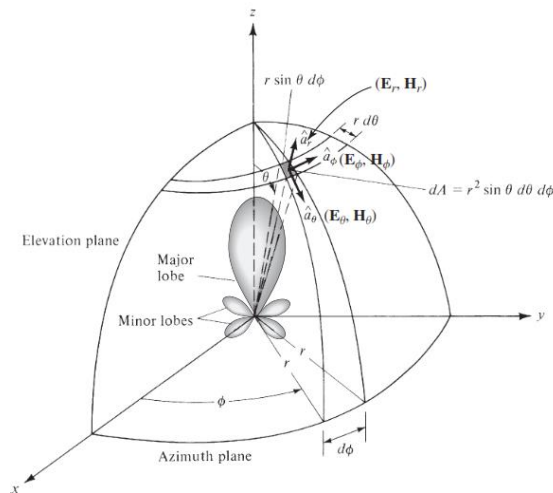
$f_0$  = Frekuensi tengah.

Perlu dicatat bahwa definisi diatas untuk antena dengan *bandwidth* di bawah 100%. Untuk antena dengan *bandwidth* lebih dari 100%, *bandwidth* dapat dihitung menggunakan rasio antara bagian atas dan tepi bawah frekuensi. Untuk antena terpolarisasi linier, impedansi *input* biasanya adalah parameter yang paling sensitif dibandingkan dengan parameter antena lain seperti pola radiasi, *gain* dan polarisasi. Jadi *bandwidth* dari antena terpolarisasi linier sering disebut sebagai '*bandwidth impedansi*', selain itu parameter lain yang dapat mempengaruhi juga seperti pola radiasi, *gain* dan polarisasi. [4].

Ketika mengevaluasi *bandwidth* dari antena CP, pertama periksa kedua *bandwidth* impedansi dan *bandwidth* AR, yaitu rentang frekuensi di mana AR berada di bawah 3 dB. *Matching* impedansi yang baik tidak selalu mengarah pada *gain* yang baik atau AR yang bernilai rendah. *Bandwidth* impedansi antena dapat diperluas menggunakan *matching* impedansi, sementara *bandwidth* AR dapat diperluas dengan menggunakan *broadband phase shifter network* [4].

### 2.2.3.3 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai “fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antenna untuk menentukan koordinat dalam ruang. Dalam kebanyakan kasus, pola radiasi ditentukan pada daerah *far-field* dan direpresentasikan sebagai fungsi koordinat terarah”. Sifat radiasi yang perlu diperhatikan adalah dua atau tiga dimensi distribusi spasial dari energi yang terpancar sebagai fungsi posisi pengamat sepanjang jalur atau permukaan dengan radius yang konstan.



**Gambar 2.3. Koordinat Sistem Untuk Analisis Antena [10]**

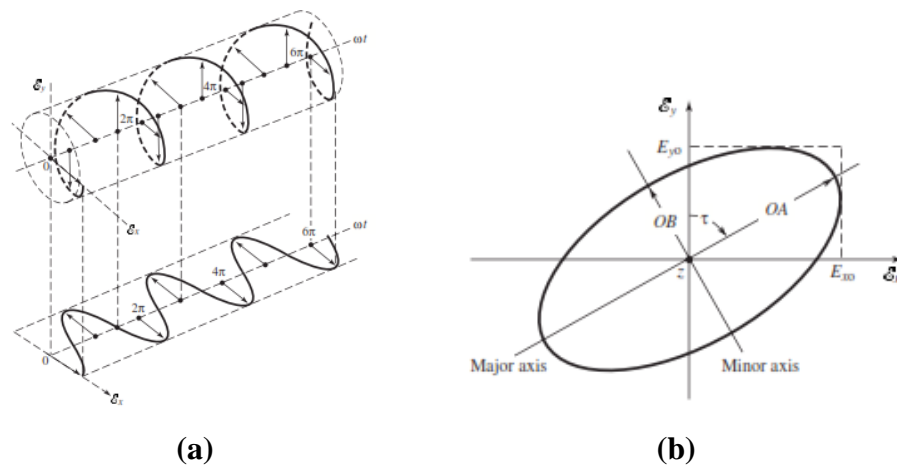
Pada gambar 2.3 koordinat sistem untuk analisis antenna medan elektrik (magnetik) yang diterima dalam radius konstan disebut amplitudo *field pattern*. Disisi lain, grafik variasi spasial dari *power density* sepanjang radius konstan disebut amplitudo *power pattern* [10].

### 2.2.3.4 Polarisasi

Polarisasi didefinisikan sebagai suatu gelombang yang ditransmisikan (dipancarkan) oleh antenna. Ketika arah tidak ditetapkan maka polarisasi dianggap sebagai polarisasi dengan arah *gain* maksimum [10]. Polarisasi dibagi menjadi tiga jenis yaitu polarisasi linier, polarisasi *circular* dan polarisasi *elips*.

### 2.2.3.4.1 Polarisasi Linier

Polarisasi linier merupakan vektor medan listrik atau medan magnet pada titik tertentu dan selalu berorientasi sepanjang garis lurus pada waktu yang sama. Polarisasi linier ada dua jenis yaitu linier dan horizontal. Suatu gelombang dikatakan polarisasi linier jika memiliki satu bagian orthogonal (vertikal atau horizontal saja) yang berada pada fase  $180^\circ$  (atau kelipatan  $180^\circ$ ). Sifat gelombang elektromagnetik menggambarkan arah dengan waktu yang bervariasi dan besaran relatif vektor medan listrik. Secara khusus, gambar 2.4 (a) ditelusuri sebagai fungsi waktu oleh ekstremitas vektor pada lokasi tetap di ruangan. Polarisasi adalah kurva yang dilacak oleh tanda panah (vektor) yang mewakili medan listrik sesaat. Bidang harus diamati sepanjang arah propagasi. Pada gambar 2.4 (b) menunjukkan bahwa suatu polarisasi bergantung pada harga relatif dari  $E_{y0}$  dan  $E_{x0}$ , dimana  $E_{y0}$  dan  $E_{x0}$  merupakan amplitudo-amplitudo yang berada pada arah y dan x. Jika nilai amplitudo pada arah y ( $E_{y0}$ ) bernilai nol atau amplitudo pada arah x ( $E_{x0}$ ) bernilai nol maka dapat dikatakan polarisasi linier. [10]



**Gambar 2.4 (a) Rotasi Gelombang Elektromagnetik [10] (b) Polarisasi Elips [10]**

Polarisasi linier mempunyai kelemahan yaitu jika antenna penerimanya berpolarisasi secara linier maka antenna ini hanya dapat menerima sinyal dari antenna yang berpolarisasi vertikal atau horizontal saja dan antenna berpolarisasi linier juga tidak bekerja dengan baik jika berada di dalam ruangan.

#### 2.2.3.4.2 Polarisasi *Circular*

Polarisasi *circular* merupakan vektor medan listrik atau magnet pada titik tertentu membentuk lingkaran. Suatu gelombang dikatakan berpolarisasi *circular* jika medan listrik atau magnet memiliki dua bagian linier orthogonal (arah vertikal dan horizontal), kedua bagian tersebut memiliki ukuran yang sama dan kedua bagian tersebut harus memiliki perbedaan fase  $90^\circ$ . Berdasarkan gambar 2.4 (b) polarisasi *circular* dapat terjadi ketika amplitudo pada arah y ( $E_{y0}$ ) dan amplitudo pada arah x ( $E_{x0}$ ) bernilai satu atau sama, sehingga memiliki perbedaan fase sebesar  $90^\circ$ . Jika amplitudo pada arah y ( $E_{y0}$ ) dan amplitudo pada arah x ( $E_{x0}$ ) tidak bernilai satu atau sama maka akan membentuk polarisasi elips [10]. Polarisasi *circular* dibagi menjadi dua jenis yaitu RHCP (*Right Hand Circular Polarized*) dan LHCP (*Left Hand Circular Polarized*). Suatu polarisasi dikatakan RHCP jika arah rambatannya searah jarum jam dan suatu polarisasi dikatakan LHCP jika arah rambatannya berlawanan jarum jam.

Antena berpolarisasi *circular* adalah jenis antena dengan polarisasi *circular*. Antena berpolarisasi *circular* juga merupakan kunci teknologi untuk berbagai sistem nirkabel seperti komunikasi satelit, komunikasi seluler, *Global Navigation Satellite System* (GNSS), sensor nirkabel, *Radio Frequency Identifications* (RFID), transmisi daya nirkabel, *Wireless Local Area Network* (WLAN), *Wireless Personal Area Network* (WPAN), *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) dan *Direct Broadcasting Service* (DBS) [4].

Antena dengan polarisasi *circular* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan antena yang berpolarisasi linier seperti penggunaan polarisasi *circular* lebih efektif dan polarisasi *circular* menghasilkan nilai RSSI yang stabil. Semakin kecil nilai RSSI maka semakin luas jarak jangkauannya [5].

#### 2.2.3.5 Impedansi *Input*

Impedansi *input* didefinisikan sebagai "impedansi yang diberikan oleh antena di terminalnya atau rasio tegangan terhadap arus pada sepasang terminal atau rasio yang tepat dari komponen listrik ke medan magnet pada suatu titik". Di bagian ini impedansi *input* pada sepasang terminal yang merupakan terminal *input* antena.

Rasio dari tegangan ke arus pada terminal tanpa beban terpasang mendefinisikan impedansi dari antena sebagai [10]

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.11)$$

dimana

$Z_A$  = Impedansi antena pada terminal a - b (ohm)

$R_A$  = Ketahanan antena pada terminal a - b (ohm)

$X_A$  = Reaktansi antena pada terminal a - b (ohm)

Secara umum, bagian resistif dari persamaan (2.10) terdiri dari dua komponen yaitu [10],

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.12)$$

Dimana

$R_r$  = Ketahanan radiasi antena

$R_L$  = *Loss* resistansi antena

Resistansi radiasi digunakan untuk mewakili daya yang dikirimkan ke antena untuk radiasi [10].

Impedansi masukan pada antena secara umum merupakan fungsi dari frekuensi. dengan demikian antena akan dicocokkan dengan saluran interkoneksi transmisi dan perangkat lainnya yang terhubung dalam *bandwidth*. Selain itu, impedansi *input* antena tergantung pada banyak faktor termasuk geometri, metode eksitasi, dan kedekatannya ke benda-benda di sekitarnya. karena geometri sangat kompleks, hanya beberapa praktis antena yang diteliti dan dianalisis. bagi yang lainnya impedansi *input* ditentukan secara eksperimental [10].

### 2.2.3.6 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR merupakan pengukuran dasar dari impedansi *matching* antara *transmitter* dan antena. Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [14]

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.13)$$

Dimana  $\Gamma$  = Koefisien pantul

Dari persamaan diatas besarnya koefisien pantul menentukan besarnya VSWR. Rumus untuk mencari nilai koefisien pantul adalah [14]

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \quad (2.14)$$

Dimana  $V_0^-$  = Tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

$V_0^+$  = Tegangan gelombang maju (*incident wave*)

$Z_{in}$  = Impedansi beban (*load*)

$Z_s$  = Impedansi saluran

Nilai VSWR yang baik yaitu bernilai 1 yang artinya tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun untuk mendapatkan VSWR yang bernilai 1 itu sangatlah sulit, sehingga nilai VSWR ditoleransi menjadi kurang dari 2. Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin besar pula *mismatch* dan semakin minimum VSWR maka antenna semakin *matching* [14].

### 2.2.3.7 Return Loss

*Return loss* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali. Fungsi *return loss* juga sama seperti VSWR yaitu untuk menentukan *matching* antara antenna dan *transmitter*. Rumus untuk mencari nilai *return loss* adalah [14]

$$return\ loss = 20 \log_{10}|\Gamma| \quad (2.15)$$

Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* di bawah -10 dB yaitu 90% sinyal yang diserap dan 10% yang dipantulkan kembali [14].

### 2.2.3.8 Axial Ratio

Salah satu syarat untuk membuat polarisasi *circular* yaitu *axial ratio* (AR). *Axial ratio* merupakan perbandingan *major axis* (OA) dengan *minor axis* (OB) [10]. *Major axis* dan *minor axis* dapat dilihat pada gambar 2.4 (b). Nilai *axial ratio* menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna yang dibuat berpolarisasi linier, *circular* atau elips. *Axial ratio* ini dapat diperoleh dengan persamaan berikut

$$AR = \frac{major\ axis}{minor\ axis} = \frac{OA}{OB} \quad (2.16)$$

Dimana

$$OA = \left[ \frac{1}{2} \{ E_{x0}^2 + E_{y0}^2 + [E_{x0}^4 + E_{y0}^4 + 2E_{x0}^2 E_{y0}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

$$OB = \left[ \frac{1}{2} \{ E_{x0}^2 + E_{y0}^2 - [E_{x0}^4 + E_{y0}^4 + 2E_{x0}^2 E_{y0}^2 \cos(2\Delta\phi)]^{1/2} \} \right]^{1/2} \quad (2.18)$$

$E_{x0}$  dan  $E_{y0}$  menunjukkan besaran maksimum dari dua komponen medan listrik, sementara  $\Delta\phi$  merupakan perbedaan fase waktu diantara keduanya [10]. Jika  $\Delta\phi =$

$\pi/2$  atau sebesar  $90^\circ$  dan  $E_x = E_y$ , sehingga  $OA = OB = E_x = E_y$ , maka polarisasinya akan menjadi polarisasi *circular*. Sedangkan jika  $\Delta\phi = n\pi$ , sehingga  $OB = 0$  dan  $\tau = \pm \arctan(E_x/E_y)$ , maka polarisasinya akan menjadi polarisasi linier. Untuk menghasilkan polarisasi *circular*, nilai *axial ratio* tidak boleh lebih dari 3 dB. Jika nilai *axial ratio* lebih dari 3 dB maka akan menghasilkan polarisasi elips. Nilai 3 dB tersebut didapat dari adanya faktor rugi-rugi daya yang disebabkan gelombang datang tidak sejajar dengan polarisasi antenna.

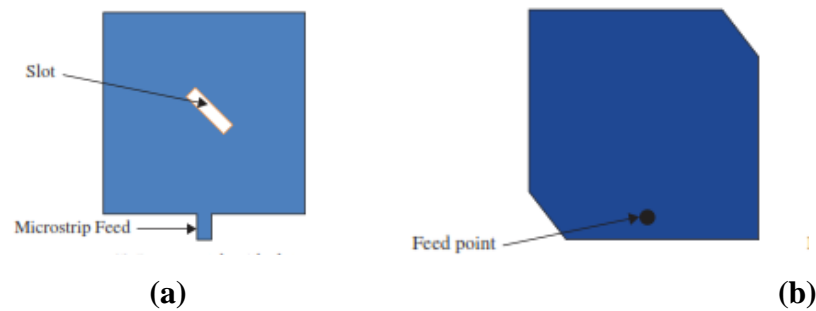
#### **1.2.4 Jenis Antena Berpolarisasi *Circular***

Syarat utama untuk membuat sebuah antenna yang berpolarisasi *circular* yaitu memiliki beda fasa sebesar  $90^\circ$ , amplitudo ratio 1 dan *axial ratio* kurang dari 3 dB. Jenis antenna yang dapat dijadikan antenna berpolarisasi *circular* yaitu antenna mikrostrip, dan antenna *wire*.

##### **2.2.4.1 Antena Mikrostrip**

Antena mikrostrip merupakan jenis antenna sangat populer karena memiliki kelebihan seperti mudah fabrikasi dan biaya yang murah. Jenis antenna mikrostrip yang dapat dijadikan antenna berpolarisasi *circular* yaitu antenna mikrostrip dengan pencatuan rangkap dan antenna mikrostrip dengan pencatuan tunggal. Antena mikrostrip dengan pencatuan rangkap ini jarang digunakan karena perancangan antenna ini cukup sulit, sedangkan antenna mikrostrip dengan pencatuan tunggal yaitu dengan memberikan slot diagonal pada *patch* atau memotong sudut *patch*. Pada umumnya bentuk *patch* yang digunakan pada antenna mikrostrip yaitu bentuk persegi dan lingkaran. Bentuk antenna mikrostrip dengan memberikan slot diagonal pada *patch* atau antenna mikrostrip dengan memotong sudut *patch* ditunjukkan pada gambar 2.5.



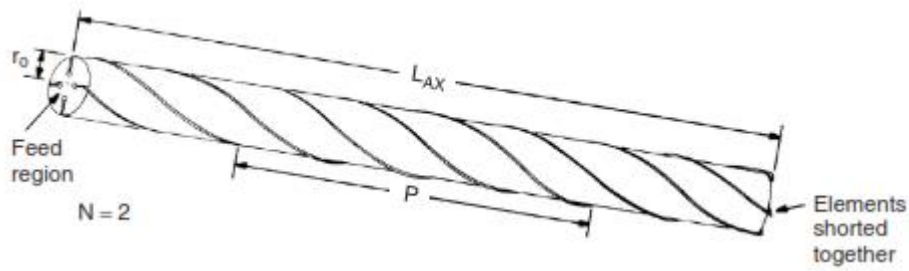


**Gambar 2.5 (a) Antena Mikrostrip Dengan Menambahkan Slot Diagonal Pada Patch [4] (b) Antena Mikrostrip Dengan Memotong Sudut Patch [4]**

Antena mikrostrip pada gambar 2.5 (a) memiliki bentuk yang sederhana yaitu dengan menambahkan slot diagonal pada bagian tengah *patch*nya. Slot diagonal tersebut memiliki panjang ( $c$ ) dan lebar ( $d$ ). Untuk menentukan panjang dan lebar dari slot diagonal tersebut dapat menggunakan rumus  $c = L/2.72$  dan  $d = W/27.2$  dimana  $L$  merupakan panjang *patch* dan  $W$  merupakan lebar *patch*. Sedangkan antena mikrostrip pada gambar 2.5 (b) memiliki bentuk sederhana juga yaitu hanya dengan memotong sudut secara diagonal sebesar  $45^\circ$ . Jika sudut *patch*nya dipotong dengan ukuran yang tepat maka akan menghasilkan perpindahan fasa sebesar  $90^\circ$ . Namun, antena mikrostrip dengan pecatuan tunggal ini masih memiliki dimensi yang cukup besar sehingga tidak cocok digunakan untuk antena pengganti Xbee S2 Pro. [4]

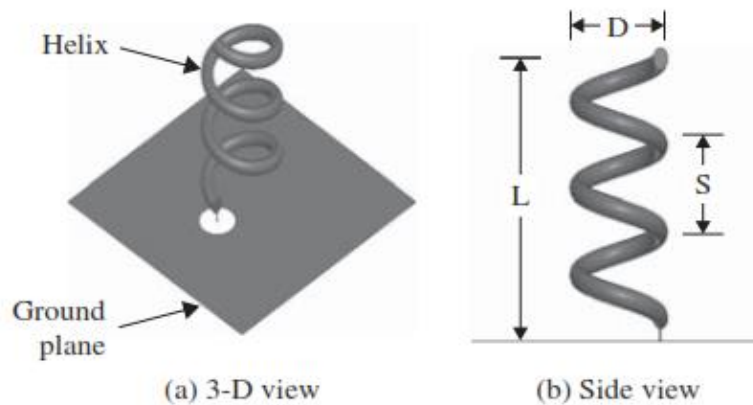
#### 2.2.4.2 Antena Wire

Antena *wire* merupakan salah satu jenis antena yang memiliki dimensi kecil. Karena berdimensi kecil maka jenis antena ini cocok untuk digunakan sebagai antena pengganti. Jenis antena *wire* yang dapat dijadikan antena berpolarisasi *circular* yaitu antena helix *quadrifilar* dan antena helix. Antena helix *quadrifilar* dibentuk oleh tiga rotasi helix sebesar  $90^\circ$ . Setiap helix ini dipisahkan secara azimut sebesar  $90^\circ$  dan antena ini memiliki empat terminal di setiap ujungnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 [10].



**Gambar 2.6 Geometri Dari Antena Helix Quadrifilar [10]**

Banyaknya putaran dan terminal di kedua ujungnya menambah parameter helix dan membuat antena ini menghasilkan polarisasi *circular* [10]. Namun antena ini masih jarang digunakan karena perancangan antena ini cukup sulit. Sedangkan antena helix merupakan sebuah kawat konduktor yang berbentuk ulir sekrup seperti pada gambar 2.7.



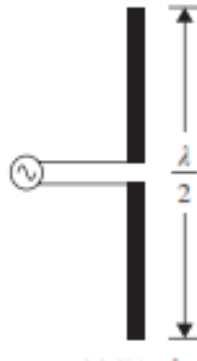
**Gambar 2.7. Antena Helix [4]**

Antena helix ini memiliki struktur yang sederhana, murah dan berdimensi kecil namun hasil perancangan antena ini menghasilkan nilai *vswr* dan *return loss* yang besar. sehingga dipilihlah antena *dipole* sebagai antena pengganti Xbee S2 Pro. Antena dipole memiliki kelebihan seperti struktur yang sederhana, dapat berpolarisasi *circular* dan berdimensi kecil.

### 1.2.5 Antena Dipole

Antena *dipole* merupakan salah satu jenis antena *wire* yang paling sederhana. Antena ini paling umum digunakan untuk sitem komunikasi, *broadcasting* dan pengukuran medan listrik dan medan magnet. Antena *dipole*

terdiri dari dua lengan yang memancar secara simetris. Antena *dipole* ini paling sering ditampilkan ditengah-tengah seperti pada gambar 2.8 [10].



**Gambar 2.8. Antena *Dipole* [4]**

Kelebihan antena *dipole* yaitu memiliki struktur yang sederhana, memiliki bahan yang mudah dicari dan dapat berpolarisasi *circular*. Untuk membuat antena *dipole* berpolarisasi *circular* yaitu dengan menggunakan AMC (*Artificial Magnetic Conductor*). AMC berfungsi sebagai *polarizer* yaitu penggubah polarisasi yang tadinya polarisasi linier menjadi polarisasi *circular*. AMC juga dapat membuat antena menjadi lebih *compact* [16].

Untuk dapat digunakan sebagai antena pengganti Xbee S2 Pro, antena *dipole* harus diatur sedemikian rupa agar dapat bekerja pada frekuensi 2.4 GHz. Adapun parameter yang harus perhatikan seperti panjang antena *dipole*. Sebelum menentukan panjang *dipole*, terlebih dahulu menentukan frekuensi kerja dan panjang gelombang. Untuk menghitung panjang gelombang dapat menggunakan persamaan berikut [10]

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.20)$$

Dimana  $\lambda$  = panjang gelombang (mm)

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$f$  = frekuensi kerja (Hz)

Setelah panjang gelombang sudah diketahui maka nilai panjang *dipole* dapat dihitung dengan persamaan berikut [10]

$$l = \frac{\lambda}{2} \quad (2.21)$$

Dimana  $l$  = panjang antena *dipole* (mm)

$\lambda$  = panjang gelombang (mm)

## 1.2.6 Metamaterial

Elektromagnetik metamaterial dapat didefinisikan sebagai bahan atau material buatan yang mempunyai struktur elektromagnetik homogen yang berbeda dengan karakteristik lainnya di alam. Struktur elektromagnetik homogenik adalah struktur yang rata-rata memiliki ukuran *cell*nya lebih kecil dari panjang gelombang. Umumnya, rata-rata ukuran *cell*nya lebih kecil dari seperempat panjang gelombang, dapat dilihat pada persamaan berikut [15]

$$p < \lambda g/4 \quad (2.22)$$

Dimana  $p$  = rata-rata ukuran *cell*

$\lambda g$  = panjang gelombang

Disini akan ditunjukkan kondisi dimana persamaan (2.22) sebagai batas dari elektromagnetik homogen. Kondisi ini akan terpenuhi dengan 2 parameter yaitu, permitivitas dan permeabilitas yang berhubungan dengan index bias. Untuk menentukan nilai index bias dapat dilihat pada persamaan berikut [15]

$$n = \pm\sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (2.23)$$

Dimana  $n$  = Index bias

$\epsilon_r$  = Permitivitas

$\mu_r$  = Permeabilitas

Permitivitas adalah parameter yang mengukur tentang efek medan listrik pada suatu medium. Atau dapat diartikan sebagai ukuran seberapa besar perubahan sebuah medium untuk menyerap energi listrik ketika dipaparkan ke sebuah medan listrik. Sedangkan permeabilitas adalah ukuran magnetisasi yang terjadi pada material sebagai respon terhadap medan magnet yang mengenainya [16].

### 2.2.6.1 Artificial Magnetic Conductor (AMC)

*Artificial Magnetic Conductor* merupakan permukaan yang memiliki impedansi tinggi atau *High Impedance Surface* (HIS). AMC ini banyak dipelajari oleh peneliti karena memiliki sifat yang unik seperti dalam fase refleksi dan memantulkan gelombang datang [6]. Struktur impedansi tinggi ini bertindak sebagai *Perfect Conductor Magnetic* (PMC) yang tidak ada di alam. AMC memiliki

struktur yang dapat direkayasa secara *artificial*, oleh karena itu disebut dengan *artificial magnetic conductor*. Kondisi AMC atau PMC dikarakteristikan sebagai frekuensi dimana *magnitude* dari koefisien pantul adalah +1 dan fasanya adalah  $0^\circ$ . Kondisi ini juga memiliki impedansi permukaan yang tinggi dan memantulkan gelombang elektromagnetik tanpa pengembalian fasa [17]. Fungsi AMC yaitu membuat antena lebih *compact* atau kecil dan sebagai *polarizer* atau mengubah polarisasi linier menjadi polarisasi *circular*. AMC juga sering disebut sebagai EBG. Pada umumnya AMC dibagi menjadi 3 yaitu *Unipolar Compact Photonic Band Gap Structure* (UC-PBG), *Electromagnetic Band Gap Structure* (EBG) dan *Artificial Ground Structure* (AGS) [18].

#### **2.2.6.2 Artificial Ground Structure (AGS)**

AGS merupakan bentuk dari AMC atau EBG yang tidak memiliki *band gap* dan *band gap*. Struktur AG memiliki pantulan fase yang mengikuti keadaan polarisasi dari gelombang datang. Struktur ini juga memiliki refleksi berfasa  $-90^\circ$  untuk polarisasi Y dan  $+90^\circ$  untuk polarisasi X. Struktur AG ini menggunakan *unit cell* atau sel-sel persegi panjang sebagai *reflektor*. Dengan menggunakan struktur seperti itu maka polarisasi *circular* dapat dicapai karena adanya hubungan dengan lebar *patch* dan lebar *unit cell* yang berbeda satu sama lain [9].