

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian yang dilakukan oleh [7], tentang “**Desain U-Slot Ganda Untuk Meningkatkan Bandwidth Antena MIMO 5G Millimeter-Wave**”. Pada Penelitian ini merancang sebuah antena mikrostrip pada frekuensi 28 GHz. Penelitian ini menggunakan penambahan *u-slot* menjadi *u-slot* ganda atau *double u-slot* yang berfungsi untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain* antena. Hasil dari penelitian ini menghasilkan *bandwidth* sebesar 2,845 GHz dan *gain* sebesar 11,16 dB[7].

Penelitian yang dilakukan oleh [4] tentang “**Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot Untuk Aplikasi 5G**”. Pada penelitian ini merancang sebuah antena MIMO dua elemen dengan *patch* persegi panjang yang bekerja pada frekuensi 15 GHz. Penelitian ini terdapat penambahan *u-slot* yang digunakan untuk meningkatkan lebar pita dari antena. Dari hasil simulasi pada perancangan tersebut didapatkan hasil *gain* sebesar 9,20 dBi dan nilai *axial ratio* mencapai 51,07dB[4].

Selanjutnya pada penelitian yang dilakuka oleh [8], tentang “**Desain Defected Ground Structure (DGS) Bentuk Spiral Untuk Memperbaiki Karakteristik Radiasi Antena Susun Patch Persegi Pencatuan Tunggal**”. Pada penelitian ini menggunakan metode *defected ground structure* (DGS). Penelitian ini menggunakan antena susun atau MIMO 4x4 tanpa DGS dan dengan DGS. Perancangan antena ini menggunakan DGS dalam bentuk *spiral*. Hasil dari simulasi mendapatkan nilai *return loss* sebesar -53,232 dB dengan *bandwidth* yang didapatkan sebesar -26,293 dB. Penerapan DGS dalam bentuk *spiral* dapat meningkatkan kinerja antena dibandingkan tanpa menggunakan metode DGS[8].

Penelitian yang dilakukan oleh [9], tentang “**Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz**”. Pada penelitian ini merancang sebuah antena *microstrip rectangular patch* menggunakan frekuensi 28 GHz yang disusun secara *array* 1x2 menggunakan penambahan *slot* atau *shape* pada *patch* antena. *Shape* tersebut berbentuk U atau biasa disebut dengan U-Slot. Dari penelitian ini didapatkan hasil simulasi bahwa penambahan *slot* pada *patch*

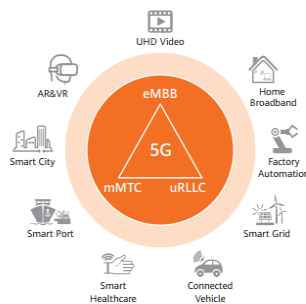
antena dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 230 MHz atau 16,54% daripada *bandwidth* sebelumnya[9].

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh [10], tentang “**Pengembangan Antena Mikrostrip Dua Elemen Dengan Penerapan *Defected Ground Structure (DGS) Berbentuk Trapesium*”**. Penelitian ini merancang antena mikrostrip dua susun dengan metode DGS dan tanpa DGS. Dari hasil simulasi pada penelitian ini menghasilkan penekanan *mutual coupling* sebesar 7,9 dB, nilai *return loss* sebesar 33, dan peningkatan *gain* sebesar 0,6 dB[10].

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Teknologi 5G

Jaringan 5G diharapkan memiliki kapasitas 1000 kali lebih besar dan kecepatan data 10 hingga 100 kali lebih cepat untuk mendukung layanan 5G. pada *International Telecommunication Union (ITU)* menetapkan 1 Gbps sebagai tolak ukur untuk kecepatan puncak yang dirasakan pengguna, dengan kecepatan keseluruhan yang dirasakan 100 Mbps untuk lokasi luar ruangan. 5G akan menandai dimulainya jenis aplikasi baru yang membutuhkan *bandwidth* yang belum pernah ada sebelumnya, latensi sangat rendah. Penggunaan 5G direncanakan untuk spektrum aplikasi yang luas dalam peningkatan perangkat seluler pengiriman *broadband* untuk hot spot; transportasi umum; multimedia resolusi tinggi; kendaraan yang terhubung pada IoT. 5G diharapkan untuk memungkinkan secara efisien berbagai layanan yang akan menghubungkan beragam perangkat mengakses beragam jaringan[3].



**Gambar 2. 1 Service Model[3].**

Pada Gambar 2.1 merupakan tiga lapisan utama pada jaringan 5G yaitu meliputi *massive Machine Type Communication (mMTC)*, *Ultra – Reliable* , dan *Low Latency (uRLLC)*, serta *Enhanced Mobile Broadband (eMBB)*. Dimulai

dengan moda transportasi yang terintegrasi penerapan IoT yang lebih luas di berbagai sektor pengembangan kota dan kebijakan publik, mMTC memiliki kekuatan untuk mendorong pengembangan *smart city* yang lebih mentransformasi masyarakat. Selanjutnya pada uRLLC teknologi 5G mampu mengakselerasikan transformasi industri yang jauh lebih baik lagi, mulai dari kecepatan *download* yang tinggi hingga latensi yang rendah. Sedangkan, dalam eMBB, dapat menerima kapasitas jaringan yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan data yang tinggi[11]. eMBB 5G diharapkan menyediakan broadband seluler yang jauh lebih cepat dan lebih andal, menawarkan pengalaman aplikasi yang lebih kaya kepada konsumen. Penggunaan eMBB menghadirkan kemampuan baru dan kuat untuk peningkatan konektivitas, kapasitas sistem, dan kecepatan data yang tinggi.

Jaringan 5G menyediakan lebih banyak kapasitas sekaligus mengurangi biaya pengoperasian (*Operational Expenses / OPEX*) dari sistem. Untuk meningkatkan kapasitas dengan menambah jumlah BTS dalam jaringan. Pada 5G terdapat teknologi baru yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas serta menurunkan konsumsi energi dari *base station* teknologi tersebut yaitu *massive MIMO*. [11].

### **2.2.2 Antena**

Antena merupakan alat komunikasi yang terbuat dari logam, yang digunakan untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Menurut Standar IEEE, istilah antena dapat didefinisikan sebagai "mengirim" atau "menerima", atau dapat dikatakan, antena merupakan struktur transisi antara perangkat pemandu dan ruang bebas. Pemandu atau perangkat transmisi membawa energi elektromagnetik dari sumber ke antena atau dari antena ke penerima. Pemandu dapat berupa tabung berongga atau saluran koaksial.[12]. Antena merupakan perangkat utama pada sistem telekomunikasi, oleh karena itu pemilihan antena, perancangan antena serta pemasangan antena juga akan mempengaruhi kinerja dari sistem telekomunikasi tersebut. Prinsip kerja dari antena yaitu sebagai alat pemancar yang dapat digunakan untuk mengubah gelombang tertuntun di dalam saluran transmisi kabel menjadi gelombang yang merambat di ruang bebas. Sedangkan antena sebagai penerima mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun[13].

Pada komunikasi *wireless* keberadaan antenna tidak bisa dihindarkan, karena setiap aplikasi membutuhkan suatu antenna yang dapat digunakan untuk proses perencanaan antenna. Ada beberapa jenis antenna yaitu sebagai berikut :

a. Antena Dipole :

yaitu antenna seperti seutas kawat, biasanya digunakan untuk televisi

b. Antena Yagi :

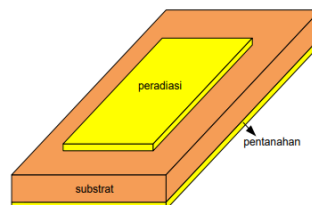
Antena yagi digunakan untuk radio karena memancarkan sinyal satu arah saja.

c. Antena Mikrostrip :

Antena mikrostrip digunakan untuk aplikasi bergerak, komunikasi satelit dll[13].

### 2.2.3 Antena Mikrostrip

Pada tahun 1970-an antenna mikrostrip dikembangkan oleh Muson dan Howell. Pada tahun tersebut antenna mikrostrip sangat populer yang digunakan untuk aplikasi dirgantara. Pada saat ini antenna mikrostrip digunakan untuk aplikasi pemerintah dan komersial. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang paling populer saat ini, karena antenna mikrostrip sangat cocok jika diaplikasikan pada perangkat komunikasi seperti *headset* dikarenakan ukurannya yang sangat kecil. Mikrostrip berasal dari kata *micro* dan *strip*. *Micro* artinya kecil atau tipis sedangkan *strip* artinya blok. Antena mikrostrip secara fisik berbentuk seperti papan tipis. Antena mikrostrip terdiri dari tiga elemen dasar yaitu *patch* , *substrat* (*substrat*) dan tanah (*ground*). Pada Gambar 2.2 merupakan struktur dasar antenna mikrostrip tersebut

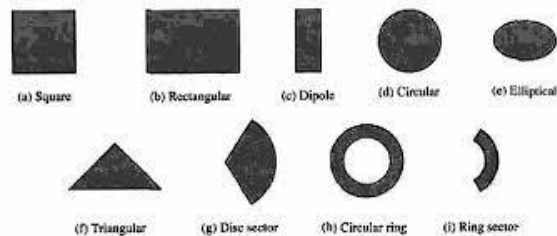


**Gambar 2. 2 Struktur Dasar Antena Mikrostrip[14]**

a) *Patch*

Elemen pemancar (radiator) dapat digunakan untuk memancarkan gelombang elektromagnetik dengan ketebalan tertentu dan terbuat dari logam atau lapisan logam. *Patch* adalah lapisan atas yang terbuat dari bahan konduktif seperti

tembaga dengan konduktivitas  $5,8 \times 10^7$  S/M. *Patch* digunakan sebagai generator. *Patch* biasanya ditempatkan di atas *substrat*. Lapisan ini akan dibuat menjadi bentuk tertentu untuk mencapai pola radiasi yang diinginkan. Ada beberapa bentuk *patch* seperti lingkaran, persegi, persegi panjang, segitiga, *elips*, garis tipis, dan lain-lain. Gambar 2.3 merupakan berbagai macam bentuk *patch*.



**Gambar 2. 3 Jenis-jenis patch**[14]

**b) Substrate**

Ketebalan *substrat* berpengaruh ke *bandwidth* yang lebar. Semakin tebal *substrat*, semakin lebar *bandwidth* yang menyebabkan munculnya gelombang permukaan. Gelombang permukaan pada antenna mikrostrip akan berdampak negatif karena akan mengurangi jumlah energi yang diperlukan untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik ke arah yang diinginkan. *Substrat* sebagai bahan dielektrik dapat digunakan untuk memisahkan *patch* dan radiasi dari tanah. *Substrat* yang tebal dengan nilai konstanta dielektrik yang rendah dapat dibuat untuk menghasilkan efisiensi dan radiasi yang baik atau untuk mendapatkan lebar pita yang lebih lebar. Tabel 2.1 dibawah ini merupakan beberapa contoh dari bahan dielektrik pada antenna mikrostrip [15].

**Tabel 2. 1 Bahan Dielektrik Mikrostrip**[14].

Material	Premitivitas Relatif
Udara	1
Cooper	1
RT/Duroid 5880	2,2
FR-4 Epoxy	4,4
Silicone Nitrate	7
Mica	5,7
PEC	1
Alumina	9,4

Material	Premitivitas Relatif
Material	Premitivitas Relatif
Silicon	11,9
Gallium Arsenide	112.9
Roger 3210	10,2

### c) *Ground*

*Ground* dapat berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan dan merupakan komponen pentanahan pada antena mikrostrip.

Ketiga elemen antena ini memiliki tipe yang berbeda sesuai dengan ketebalan ( $h$ ) dan sifat premitivitas material ( $\epsilon_r$ ). Nilai dari ketebalan bahan dan konstanta dielektrik akan mempengaruhi *bandwidth*, frekuensi dan performansi antena yang akan dirancang[14].

Untuk mendapatkan dimensi dari *groundplane*, dapat menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 :

$$L_g = L + 6h \quad (2.1)$$

$$W_g = W + 6h \quad (2.2)$$

Antena mikrostrip juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangan dari antena mikrostrip tersebut yaitu:

➤ Kelebihan :

1. Memiliki bentuk yang tipis, dan memiliki massa yang ringan
2. Mudah dibuat dan harga relatif murah
3. Dapat bekerja lebih dari satu frekuensi

➤ Kekurangan

1. *Gain* dan efisiensi yang rendah
2. *Bandwidth* yang sempit
3. Memiliki daya yang rendah[14].

#### 2.2.4 Antena Mikrostrip *Patch Square*

Ada beberapa jenis *patch* antena mikrostrip yang umum digunakan yaitu persegi, persegi panjang, lingkaran, dan *elips*. Bentuk *patch* yang digunakan pada penelitian ini adalah *patch* persegi. Antena mikrostrip dengan *patch* segi empat yang meliputi lebar ( $W$ ) dan panjang ( $L$ ) dari dielektrik alas memiliki ketebalan ( $h$ )

dan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ). Oleh karena itu, dengan mengatur lebar antena mikrostrip ( $W$ ), impedansi masukan akan berubah. Berikut adalah persamaan antena mikrostrip persegi untuk menentukan lebar *patch* ( $W$ ) antena mikrostrip persegi dapat menggunakan persamaan 2.3 [14]

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.3)$$

Dimana:

$c$  = kecepatan cahaya

$f$  = frekuensi

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

Parameter  $\Delta L$  diperlukan untuk menghitung panjang *patch* ( $L$ ), yang mana merupakan panjang tambahan dari  $L$  karena efek pada elemen perdisi antena mikrostrip tampak lebih besar dari dimensi fisiknya. atau biasa disebut dengan *fringing effect* yang ditunjukkan pada persamaan 2.4 sampai 2.5.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1} \quad (2.4)$$

$$\Delta L = 0,412h \left( \frac{\epsilon_{\text{reff}} + 0,3}{\epsilon_{\text{reff}} - 0,258} \right) \left( \frac{\frac{w}{h} + 0,264}{\frac{w}{h} - 0,8} \right) \quad (2.5)$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (2.6)$$

$$L = L_{\text{eff}} - 2 \Delta L \quad (2.7)$$

Dimana:

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

$c$  = kecepatan cahaya pada ruang hampa ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f$  = frekuensi kerja dari antena yang digunakan (Hz)

$h$  = tebal dari *substrat*

$\epsilon_{\text{reff}}$  = konstanta dielektrik *relative*

$L_{\text{eff}}$  = panjang *patch* efektif

Untuk mendapatkan panjang *ground plane* ( $L_g$ ) dan lebar *groundplane* ( $W_g$ ) dapat menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.

$$L_g = L + 6h \quad (2.1)$$

$$W_g = W + 6h \quad (2.2)$$

### 2.2.5 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

*Multiple Input Multiple Output (MIMO)* adalah teknik yang menggunakan beberapa antena baik pada penerima maupun pengirim untuk meningkatkan kualitas sistem komunikasi. Menggunakan banyak antena dapat meningkatkan jangkauan dan kualitas transmisi data tanpa membutuhkan *bandwidth* atau daya tambahan. Namun, menggunakan banyak antena dapat meningkatkan ukuran sistem, pola radiasi yang terdistorsi, dan mungkin mengurangi kapasitas saluran. Antena dirancang untuk menghasilkan parameter yang baik. Antena MIMO dapat meningkatkan throughput data tanpa meningkatkan *bandwidth*, sehingga antena MIMO sangat penting untuk teknologi 5G. Pengembangan antena MIMO dalam teknologi 5G dilakukan dengan mengubah pancaran antena yang dapat berubah tergantung kondisi lingkungan, seperti pergerakan pengguna dan peningkatan kecepatan transmisi data[16].

Dalam mendesain antena MIMO ada beberapa hal yang perlu diperhatikan:

a) *Mutual Coupling*

*Mutual coupling* terjadi ketika munculnya tegangan pada salah satu elemen antena yang diakibatkan letak antar elemen antena yang berdekatan, sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari antena. Oleh karena itu, ukuran antena dapat dikurangi untuk mengurangi jarak antar elemen. Namun, hal ini harus tetap memenuhi kondisi *mutual coupling*. yaitu  $\leq -20$  dB[17].

b) Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur interferensi sinyal antar saluran. Koefisien korelasi menggunakan pendekatan S dengan nilai mendekati nol ( 0 ). Dalam hal ini dapat menggunakan persamaan (2.8): [18].

$$\rho = \frac{|S_{11} \cdot S_{12} + S_{21} \cdot S_{22}|}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]} \quad (2.8)$$

Dimana :

$\rho$  : Koefisien korelasi antena MIMO

$S_{11}$  : nilai *return loss* pada antena 1

$S_{22}$  : nilai *return loss* pada antena 2

$S_{12}$  : nilai *mutual coupling* antena 1 terhadap antena 2

$S_{21}$  : nilai *mutual coupling* antena 2 terhadap antena 1



Antena MIMO merupakan suatu sistem menggunakan antena lebih dari satu baik dari sisi penerima maupun pemancar. Antena MIMO menggunakan sejumlah  $N$  antena dan sejumlah  $M$  antena penerima. Penelitian ini menggunakan MIMO  $2 \times 2$ . MIMO  $2 \times 2$  menyatakan bahwa jumlah antena pada sisi pemancar dan sisi penerima sama-sama berjumlah dua buah.

### 2.2.6 Parameter Antena

Pada perancangan antena terdapat beberapa parameter yang digunakan sebagai dasar dari pengujian antena. Di bawah ini merupakan beberapa parameter antena yang digunakan:

#### A. Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan gambaran grafis medan elektromagnetik pada pancaran antena yang berfungsi sebagai koordinat ruang. Ada tiga jenis pola radiasi pada antena, yaitu:

##### 1) Pola radiasi *Directional*

Pola radiasi *directional* merupakan pancaran dari penerimaan sinyal radiasi yang diarahkan pada satu titik. Pola ini digambarkan dalam bentuk pola radiasi yang terarah. Antena dengan pola radiasi ini biasanya digunakan untuk komunikasi *point to point*. Bentuk pola radiasi *directional* dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah ini [19].

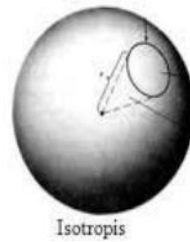


**Gambar 2. 4 Pola Radiasi Direksional[19]**

##### 2) Pola radiasi Isotropis

Pola radiasi isotropis merupakan pola radiasi yang dipancarkan dari titik dengan jumlah radiasi yang sama ke segala arah dan memiliki bentuk seperti bola. Antena dengan pola radiasi *isotropis* adalah antena yang akan mengirimkan frekuensi secara merata ke semua arah dengan level daya yang sama besarnya. Namun hal ini jarang terjadi karena adanya *loss* yang dikirimkan selama proses

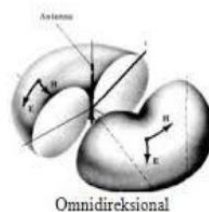
transmisi. Gambar 2.5 dibawah ini merupakan bentuk dari pola radiasi isotropis[14].



**Gambar 2. 5 Pola Radiasi Isotropis[19].**

3) Pola radiasi *Omnidirectional*

Pola radiasi *omnidirectional* biasanya digunakan pada antena *dipole* karena dipancarkan ke segala arah dengan pancaran daya ke sekelilingnya pada satu bidang yang sama besar. Kekurangan pola ini adalah jarak pancaran yang pendek, sehingga jangkauan areanya kecil. Antena *omnidirectional* memiliki *gain* sekitar 3-12 dBi. Antena ini biasanya digunakan untuk komunikasi *Point to Multi Point* atau dari satu titik ke banyak titik. Antena ini mempunyai radiasi yang horizontal dengan pancaran  $360^\circ$ . Antena ini hanya memberikan pancaran sinyal pada daerah sekitar, sedangkan pada daerah atas antena tidak memiliki radiasi. Pada Gambar 2.6 dibawah ini merupakan bentuk dari pola radiasi *omnidirectional* [20].

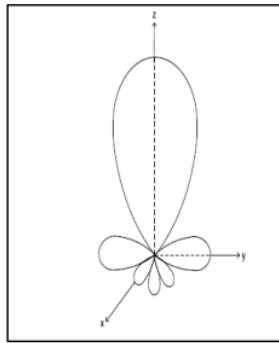


**Gambar 2. 6 Pola Radiasi *Omnidirectional*[19].**

4) Pola radiasi *Unidirectional*

Pola radiasi *unidirectional* merupakan pola radiasi yang menerima gelombang elektromagnetik dalam arah tertentu dan dapat menjangkau jarak jauh. Antena *uniderctional* mengirim dan menerima sinyal radio hanya pada satu arah, umumnya pada fokus yang sangat sempit. Antena *unidirectional* pada umumnya memiliki pola radiasi gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah – arah tertentu saja. Antena dengan pola radiasi ini merupakan jenis antena dengan *narrow bandwidth*, yaitu memiliki memiliki sudut pancar yang kecil dengan daya

lebih terarah, dan jaraknya yang jauh. Gambar 2.7 dibawah ini merupakan bentuk dari pola radiasi *unidirectional* [14].



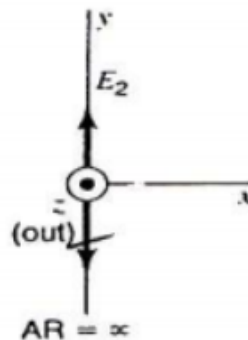
**Gambar 2. 7 Pola Radiasi *Unidirectional***[14]

## B. Polarisasi

Polarisasi antenna merupakan arah medan listrik dapat dihasilkan dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna pada *lobe* utama sebagai fungsi waktu pada bidang tegak lurus terhadap arah rambatannya. Jenis polarisasi dibedakan menjadi tiga yaitu: polarisasi *linear*, polarisasi *eliptical*, dan polarisasi *circular*. Berikut merupakan penjelasan dari ketiga jenis polarisasi tersebut[21].

### 1) Polarisasi *Linear*

Dapat dikatakan polarisasi *linear* apabila medan listrik pada arah  $y$  dan *axial ratio* (AR) =  $\infty$ . *Axial ratio* (AR) merupakan perbandingan dari sumbu mayor dengan sumbu minor. Polarisasi *linear* dibagi menjadi dua yaitu polarisasi *horizontal* dan polarisasi *vertikal*. Dapat dikatakan polarisasi *horizontal* apabila arah rambat gelombangnya ke arah *horizontal* terhadap permukaan bumi. Sedangkan polarisasi *vertikal* dapat dikatakan apabila arah rambat gelombangnya ke arah *vertikal* terhadap permukaan bumi. Seperti pada Gambar 2.8 dibawah ini merupakan bentuk dari polarisasi *linear*. [21].

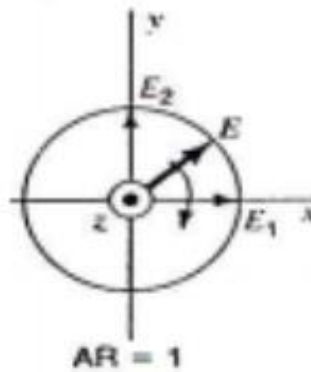


**Gambar 2. 8 Polarisasi *Linear***[15]

## 2) Polarisasi *Circular*

Dapat dikatakan polarisasi *circular* apabila sumbu mayor sama dengan sumbu *minor*, dan *axial ratio* (AR) = Pada polarisasi *circular* besar medan listrik sama dan berputar pada lintasan berbentuk *circular*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Polarisasi *circular* terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik yang memiliki vektor medan magnet dimana titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Gambar 2.9 dibawah ini merupakan bentuk polarisasi *circular*. Selain itu ada beberapa hal yang dapat dikatakan jenis polarisasi *circular* yaitu sebagai berikut :[21].

- Kedua komponen harus memiliki magnitude yang sama
- Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus *linear*.



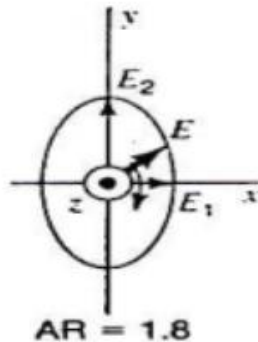
**Gambar 2. 9 Polarisasi *Circular***[15]

## 3) Polarisasi *Elliptical*

Polarisasi *elips* dapat dikatakan jika sumbu mayor sama dengan sumbu *minor* dan nilai *axial ratio* (AR)  $\neq 1$  dan  $\neq \infty$ . Polarisasi ini berputar pada lintasan berbentuk *elips* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dibawah ini. Ada beberapa kondisi yang dapat dikatakan sebagai polarisasi *eliptical*, yaitu sebagai berikut : [21].

- Apabila kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama perbedaan *phase* waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai  $0^\circ$  atau kelipatan  $180^\circ$ , karena akan menjadi *linear*.
- Kedua komponen harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda.

- Medan harus mempunyai dua komponen *linear orthogonal*.



**Gambar 2. 10 Polarisasi Elips[15]**

#### *Axial Ratio*

*Axial ratio* merupakan parameter dari polarisasi yang dapat menggambarkan arah medan listrik, dimana *axial ratio* digunakan untuk menentukan arah polarisasi yang dapat diketahui dari nilai *axial ratio*. Nilai *axial ratio* dapat diketahui dari perbandingan *magnitude mayor* dan *magnitude minor*, yang mana dapat dicari menggunakan persamaan (2.9)[20].

$$Axial\ Ratio = \frac{E(mayor)}{E(minor)} = \sqrt{\frac{\frac{P_{watt\ mayor} \times 377}{A_e}}{\frac{P_{watt\ minor} \times 377}{A_e}}} \quad (2.9)$$

#### **C. Bandwidth**

*Bandwidth* merupakan rentang frekuensi dimana kinerja dari antenna tersebut dapat bekerja dengan baik. Antena pada umumnya dirancang agar dapat bekerja sesuai dengan ketentuan–ketentuan yang diharapkan. Dalam hal ini tentu membutuhkan *bandwidth* yang terbatas sesuai dengan rancangan antenna yang akan dibuat. Nilai dari *bandwidth* merupakan hasil pembagian dari frekuensi tertinggi ( $f_h$ ) dikurangi dengan frekuensi terendah ( $f_L$ ) dibagi dengan frekuensi tengah ( $f_c$ ). Adapun persamaan dari *bandwidth* yaitu ditunjukkan pada persamaan 2.10 [22].

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \quad (2.10)$$

Dimana :

$f_h$  = frekuensi tertinggi

$f_l$  = frekuensi terendah

$f_c$  = frekuensi tengah

#### D. Gain

*Gain* merupakan suatu penguatan untuk antenna yang mana penguatan tersebut merupakan perbandingan dari intensitas radiasi maksimum terhadap intensitas radiasi referensi. Besarnya nilai gain tergantung dari nilai direktivitas dan efisiensi antenna. Berikut merupakan persamaan dari *gain* antenna 2.11: [22].

$$G = \eta \times D \quad (2.11)$$

Dimana :

G = gain antenna

$\eta$  = factor efisiensi antenna

D = Direktivitas

#### E. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

*Voltage standing wave ratio* (VSWR) merupakan perbandingan antara gelombang pantul dengan gelombang datang yang mana gelombang tersebut akan membentuk gelombang berdiri (*standing wave*). Pada saluran transmisi terdapat gelombang tegangan yang dikirimkan ( $V_o^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_o^-$ ) yang dapat disebut dengan koefisien refleksi ( $\Gamma$ ). Kemudian untuk perbandingan amplitudo-amplitudo dari gelombang yang dipantulkan terhadap gelombang datang ditentukan oleh impedansi beban ( $Z_L$ ). Berikut merupakan bentuk persamaannya ditunjukkan pada persamaan 2.12 [23].

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.12)$$

Dimana :

$\Gamma$  = Koefisien refleksi

$V_o^+$  = tegangan yang dikirimkan

$V_o^-$  = tegangan yang direfleksikan

$Z_L$  = impedansi beban

$Z_0$  = impedansi saluran

Koefisien refleksi tegangan  $\Gamma$  memiliki nilai yang kompleks untuk mempresentasikan besarnya *amplitude* dan fasa dari refleksi. Ketika bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol maka:

- $\Gamma = 0$  tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna

- $\Gamma$  ;  $-1$  Refleksi negatif minimum, ketika saluran terhubung singkat
- $\Gamma$  ;  $1$  Refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

Sedangkan rumus untuk mencari VSWR dapat menggunakan persamaan (2.13):

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

Dimana :

VSWR = Perbandingan gelombang berdiri

$V_{max}$  = tegangan maksimum

$V_{min}$  = tegangan minimum

$\Gamma$  = impedansi saluran

Kondisi VSWR yang baik adalah ketika bernilai 1 yang menandakan tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Tetapi pada praktiknya untuk mendapatkan nilai VSWR tepat di angka 1 sangat sulit didaapat, sehingga umumnya nilai VSWR ketika bernilai  $\leq 2$ . Nilai dari parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah bisa bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak[22].

#### F. *Return Loss*

*Return loss* merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap gelombang yang dikirimkan. *Return loss* akan terjadi ketika tidak adanya kesesuaian antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban antena. Rumus untuk mencari *return loss* dapat menggunakan persamaan (2.14):

$$Return Loss (dB) = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.14)$$

Dimana :

$\Gamma$  = Koefisien Refleksi

nilai *return loss* dinyatakan baik jika bernilai dibawah  $-10$  dB, nilai tersebut dapat diperoleh dari nilai  $VSWR \leq 2$ [22].

#### G. *Insertion Loss*

*Insertion loss* merupakan hilangnya daya sinyal yang diakibatkan adanya penyisipan perangkat dalam saluran transmisi dan dinyatakan dalam satuan *decible* (dB). Kerugian dalam penyisipan dalam dB ditunjukkan pada persamaan (2.14)

$$Insertion\ Loss\ dB = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} \quad (2.14)$$

Dimana:

$P_T$  = daya yang di transmisikan oleh beban

$P_R$  = daya yang diterima oleh beban

#### H. Isolation Loss

*Isolation loss* merupakan perbedaan level sinyal dalam dB antara *port* input dan *port output*, dimana kedua port tersebut *matched load*. Untuk mencari *isolation loss* dapat menggunakan persamaan 2.15

$$Isolation\ (dB) = -10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.15)$$

Dimana :

$P_1$  = Port Keluaran 1 (dB)

$P_2$  = Port Keluaran 2 (dB)

#### I. Directivity (Keterarahan)

*Directivity* atau keterarahan merupakan perbandingan intensitas radiasi pada suatu arah tertentu dari antenna dengan intensitas radiasi rata – rata dari keseluruhan arah. Intensitas radiasi rata – rata sama dengan daya total yang dipancarkan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$  [22]. Untuk mencari *directivity* dapat menggunakan persamaan (2.16).

$$Directivity = \frac{4\pi \times U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.16)$$

Dimana:

$U_{max}$  = Intensitas radiasi maksimum

$P_{rad}$  = Total daya teradiasi

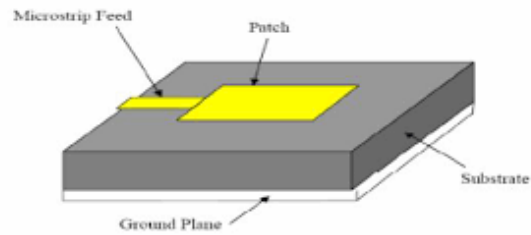
#### 2.2.7 Teknik Pencatuan Antena

Teknik pencatun antenna akan mempengaruhi impedansi input dan karakteristik dari sebuah antenna. Teknik pencatun antenna digunakan untuk mengirimkan daya dari sumber ke antenna mikrostrip. Pada pencatun antenna terdapat beberapa teknik pencatun antenna yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:



### 1. *Microstrip Line*

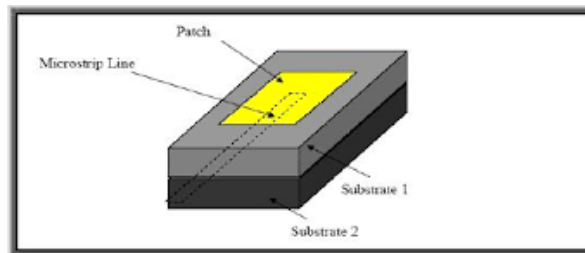
*Microstrip line* merupakan jenis pencatuan langsung yang dihubungkan ke *patch* antena. *Microstrip line feeding* memiliki bentuk pencatuan dengan dimensi yang lebar dengan nilai impedansi yang diinginkan, sehingga dapat dikatakan sebagai mikrostrip *line* berbentuk persegi panjang dan pencatumannya menyatu dengan *patch*. Gambar 2.11 merupakan contoh pencatuan mikrostrip *line feeding*.



**Gambar 2. 11 Pencatuan Mikrostrip *Line Feeding***[24]

### 2. *Aperature Coupled Feeding*

Teknik pencatuan jenis ini merupakan teknik pencatuan antara *patch* dan *micorstrip line* nya terpisah yang dihasilkan dari adanya *aperature* pada *groundplane*. Seperti pada Gambar 2.12 merupakan bentuk dari teknik pencatuan *aperature coupled feed*. Besarnya *coupling* dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran serta letak dari *aperature*.

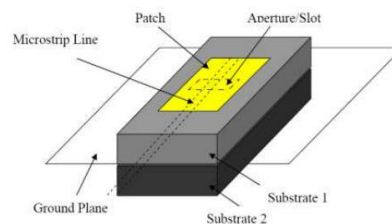


**Gambar 2. 12 Teknik pencatuan *aperature coupled feed***[24]

### 3. *Coaxial Probe Feeding*

*Coaxial probe feeding* merupakan teknik pencatuan dengan cara melubangi *patch* hingga tembus ke lapisan *groundplane* yang kemudian akan dihubungkan dengan elemen pencatu. Teknik pencatuan ini merupakan pencatuan yang menyatu seluruh permukaan *patch* sehingga akan mudah dalam mendapatkan impedansi input. Tetapi pada teknik *coaxial probe* ini memiliki kekurangan pada saat

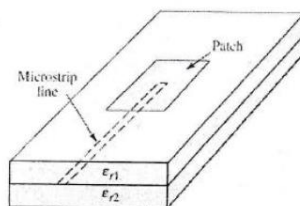
melubangi *substrat* untuk memasang *probe* nya menonjol kebawah ke arah *groundplane* mengakibatkan konfigurasi antena menjadi tidak simetris. Teknik pencatuan jenis ini juga memiliki kelebihan yaitu efisiensi dalam meminimalisir radiasi yang tidak diinginkan, tetapi teknik ini juga sulit dalam fabrikasi karena perbedaan *inner* dan *outer* konduktor *patch*. Dibawah ini gambar 2.13 yang menunjukkan bagaimana dari teknik pencatuan *coaxial probe feeding*



**Gambar 2. 13 Teknik pencatuan *coaxial probe feeding*[15]**

#### 4. *Proximity Coupled Feeding*

Pada teknik pencatu *proximity coupled feeding*, pencatu berada diantara dua lapisan *substrate*, yaitu berada diantara lapisan *substrate* atas yang merupakan *layer dielektrik* dengan *patch* yang terletak dipermukaan lapisannya, sedangkan pada *substrate* bagian bawah menyatu dengan *groundplane* nya. Gambar 2.14 dibawah ini merupakan contoh dari pencatuan *proximity coupled feeding*

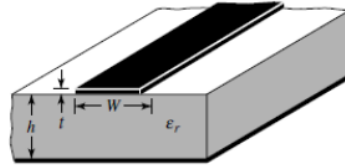


**Gambar 2. 14 Pencatuan *Proximity coupled feed*[13]**

#### 2.2.8 Teknik Pencatuan *Microstrip Line*

Pada perancangan antena ini menggunakan teknik pencatuan mikrostrip *line*. Teknik pencatuan ini memiliki keunggulan yaitu mudah dalam proses fabrikasi karena *feed line* dalam elemen peradiasi di desain pada *substrat* yang sama. teknik ini juga lebih sederhana dibandingkan dengan teknik pencatu lainnya. *Patch* pada teknik ini dicatu pada bagian tepinya sehingga harus memperhatikan impedansi

pada tepi *patch* yang harus sesuai dengan impedansi saluran agar transfer daya maksimum. Gambar 2.15 merupakan teknik pencatuan mikrostrip *line* [23].



**Gambar 2. 15 Mikrostrip *Line***

Untuk mendapatkan karakteristik impedansi saluran pencatu yang diinginkan maka diperlukan perhitungan dimensi saluran pencatu seperti pada persamaan 2.17 dan 2.18[23].

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.17)$$

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.18)$$

Dimana:

$Wf$  = dimensi lebar saluran pencatu

$Z_0$  = impedansi saluran catu

Besarnya konstanta dielektrik ( $\epsilon_{eff}$ ) jika  $\left(\frac{Wf}{h}\right) > 1$ , dinyatakan dalam persamaan 2.19 yaitu

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left(1 + \frac{12h}{Wf}\right)^{-0,5} \quad (2.19)$$

Dan untuk besarnya konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) jika  $\left(\frac{Wf}{h}\right) < 1$ , dinyatakan dalam persamaan 2.20 yaitu : [23].

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{Wf}\right)}} + 0,04 \left(1 - \frac{Wf}{h}\right)^2 \right] \quad (2.20)$$

Untuk menyesuaikan dua impedansi yang tidak sama, yaitu impedansi saluran ( $Z_0$ ) dan impedansi beban ( $Z_L$ ) digunakan teknik *impedansi matching*.  $\frac{\lambda}{4}$  merupakan teknik impedansi *matching* dengan memberikan saluran transformasi dengan impedansi  $Z_T$  dianrata dua saluran transmisi yang tidak *match*. Untuk

menentukan panjang saluran pencatu  $\frac{\lambda}{4}$  ditunjukkan pada persamaan 2.21 sampai 2.23 [23].

$$Lf = \frac{1}{4} \lambda g \quad (2.21)$$

$$\lambda g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.22)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2.23)$$

Dimana :

$Lf$  = panjang gelombang pencatu

$\lambda g$  = panjang gelombang pada bahan dielektrik

$\lambda_0$  = panjang gelombang diudara bebas (m)

Kemudian untuk perhitungan jarak antar elemen antenna ( $d$ ) dibutuhkan yaitu setengah dari panjang gelombang ( $\lambda$ ) seperti pada persamaan 2.24 [23].

$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (2.24)$$

Dimana :

$d$  = jarak antar elemen

### 2.2.9 U-Slot

Salah satu kekurangan dalam antenna mikrostrip yaitu *bandwidth* yang sempit. Oleh karena itu, salah satu teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* pada antenna mikrostrip adalah dengan menambahkan *slot* pada *patch* antenna. *Slot* antena memiliki bentuk yang berbeda-beda. Misal U, H, T, E dan V. Untuk menentukan besar kecilnya slot berbentuk U dapat menggunakan persamaan 2.25 sampai 2.29: [9]

$$F = \frac{\lambda}{60} = \frac{c}{f \times 60} \quad (2.25)$$

$$C \geq 0,3 \text{ atau } \frac{E}{W} = 0,3 \quad (2.26)$$

$$D = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2 (L + 2\Delta L - F) \quad (2.27)$$

Dimana :

$\lambda$  = Panjang gelombang

$W$  = Lebar *patch*

$F$  = lebar slot

E = panjang slot secara vertikal

D = panjang slot secara horizontal

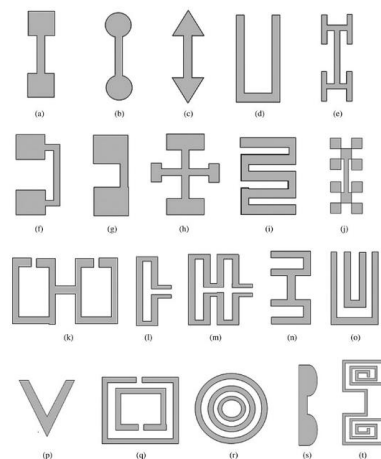
### 2.2.10 Metode – Metode Yang Digunakan Pada Antena

Pada antena memiliki beberapa metode yang sering digunakan dalam pembuatan desain antena sesuai dengan tujuannya. Ada beberapa metode antena yang digunakan dalam pembuatan simulasi antena diantaranya yaitu: *defected ground structure* (DGS) dan metode *Butler Matrix*.

#### 1. *Defected ground structure* (DGS)

*Defected ground structure* merupakan bentuk pola sketsa yang terletak pada bidang *ground*. Struktur DGS biasanya digunakan pada rangkaian filter dalam mikrostrip *line* yang menolak suatu frekuensi tertentu atau *bandgap* seperti halnya pada struktur EBG. Selain diaplikasikan pada *microstrip line* dalam rangkaian filter, DGS juga dapat diaplikasikan pada antena MIMO.

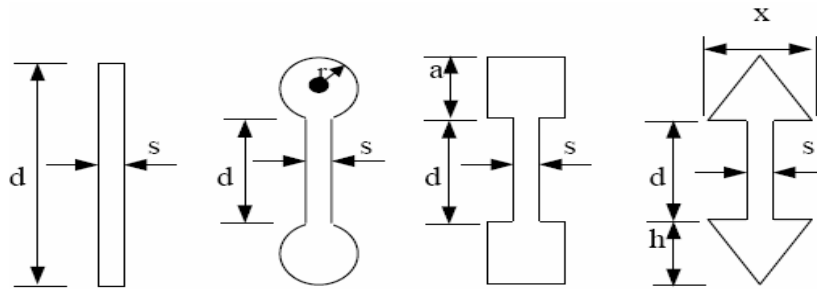
Propagasi gelombang permukaan merupakan salah satu masalah pada antena mikrostrip. Gelombang permukaan meningkatkan *mutual coupling* pada antena, membatasi *bandwidth*, membatasi rentang frekuensi, dan mengurangi efisiensi *gain*. *Defected Ground Structure* menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Metode DGS ini diterapkan dengan mengatur bagian *ground*. Keuntungan dari cara ini adalah tidak perlu melubangi bagian *substrat* dan hanya perlu meng-*etching* kan bagian *ground* saja. Ada beberapa tipe DGS seperti terlihat pada Gambar 2.16



Gambar 2. 16 Bentuk DGS: [25]

Pada penelitian ini penulis menggunakan bentuk dari *defected ground structure* (DGS) dengan jenis *dumbbell*. Bentuk unit DGS *dumbbell* ini digunakan untuk mengetahui efek dari suatu *slot* pada bagian *groundplane* pada antenna *single patch* dan MIMO yang diaplikasikan untuk teknologi 5G. Penulis memilih bentuk *dumbbell* karena cukup sederhana dibandingkan bentuk DGS lainnya seperti *spiral* atau lingkaran. [26].

Pada gambar 2.16, menunjukkan bentuk DGS *dumbbell* dengan berbagai bentuk kepala *dumbbell* seperti lingkaran, segi panjang, dan segitiga. Pada



penelitian ini, penulis menggunakan bentuk kepala *dumbbell* dengan bentuk segi empat atau *square* hal ini dikarenakan mengikuti bentuk dari *patch*. Selain posisi *dumbbell*, faktor lain yang menentukan perubahan kinerja filter adalah ukuran *dumbbell*, luas permukaan kepala *dumbbell*, panjang *slot dumbbell*, posisi *slot*, lebar *slot dumbbell* dan jarak antara setiap *slot dumbbell*. Selain itu, frekuensi kerja filter dapat diatur dengan mengubah luas kedua ujung *dumbbell*. Pada Gambar 2.17 dibawah ini merupakan contoh lain dari bentuk *dumbbell* [26].

**Gambar 2. 17 Bentuk - bentuk lain dari slot *dumbbell*** [26]

## 2. Butler Matrix

Metode *butler matrix* pertama diperkenalkan oleh Jesse Butler dan Ralph Lowe. Metode *butler matrix* berkaitan dengan kehilangan daya (*power loss*) dikarenakan komponen dan penyimpangan *copper lines*, tetapi *beam angle* dan *beamwith* berbeda dengan frekuensi[23].

Metode *butler matrix* merupakan mengubah fasa catuan pada antenna. Metode *butler matrix* merupakan metode yang berupa rangkaian *microwave* yang memiliki N port masukan dan N port keluaran. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengubah satu input ke beberapa *port* yang membutuhkan pembagi daya dari

suatu *port* ke  $N$  *port*. Metode *butler matrix* memiliki beberapa kelebihan dalam penggunaannya yaitu:

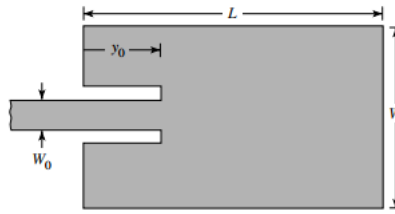
1. Dapat menghasilkan beam yang memiliki jangkauan yang sempit dan *directivity* yang tinggi. Mudah untuk diimplementasikan menggunakan *hybrid coupler* dan pergeseran fasa.
2. Dapat mencapai *continuous beam scanning*.
3. Mempunyai *path length* dan jumlahh komponen yang lebih sedikit dibandingkan dengan *beamforming* lain.
4. Dapat bekerja dengan nilai *crossover* yang konstan sesuai dengan frekuensi.

Metode *butler matrix* terdiri dari tiga komponen utama yaitu 3 dB *quadrature couplers*, *crossover*, dan  $45^\circ$  *phase shifter*. Komponen tersebut dapat diimplementasikan menggunakan mikrostrip *line*, karena mudah dalam fabrikasi dan dengan biaya sedikit. Pada sistem dapat menghasilkan *narrow beams* pada arah yang berbeda dengan *gain* yang lebih tinggi karena dibuat pada *substrat* yang sama

Pada penelitian ini penulis memilih menggunakan metode *defected ground structure* (DGS). Pemilihan metode ini dikarenakan pada penilitan penulis di implementasikan untuk teknologi 5G, teknologi 5G sendiri memiliki tujuan untuk memperlebar *bandwidth*. Maka penulis memilih metode DGS dikarenakan metode DGS dapat digunakan untuk memperlebar *bandwidth*[23].

### **2.2.11 Inset – feed Antena Mikrostrip**

*Inset feed* mmiliki bentuk yang mudah diimplementasikan dan mudah dibuat pada *patch* antena. Dimana sifat - sifat antena mudah diubah oleh dimensi *inset gap* dan panjang *inset*. Memberikan nilai *inset gap* dan *inset length* dapat menurunkan nilai *return los* pada antena mikrostrip. Untuk dapat menghitung nilai *inset – feed* pada *patch* antena dapat menggunakan rumus persamaan 2.28 – 2.35 di bawah ini, yang menggunakan input impedansi pada saluran sebesar 50 ohm. Kemudian bentuk dari *inset feed* pada antena mikrostrip dapat ditunjukkan pada Gambar 2.18 dibawah ini. Bentuk *insetfeed* pada Gambar 2.18 terdapat komponen  $y_0$  dan  $x_0$ , yang mana  $y_0$  merupakan panjang dari *insetfeed*, sedangkan  $x_0$  merupakan lebar dari *insetfeed* tersebut [20].



**Gambar 2. 18 Bentuk *Inset - Feed* pada antenna mikrostrip [20].**

Untuk mencari dimensi lebar *inset – feed* ( $X_0$ ) dapat menggunakan persamaan 2.32 [27].

$$fr = \frac{c}{\sqrt{2 \times \epsilon_{reff}}} \frac{4,6 \times 10^{-14}}{X_0} + \frac{f}{1,01} \quad (2.28)$$

Dimana untuk  $fr = f$  untuk mendapatkan resonansi yang diinginkan, berikut rumusnya yang ditunjukkan pada persamaan (2.31 – 2.32)

$$fr - \frac{f}{1,01} = \frac{c}{\sqrt{2 \times \epsilon_{reff}}} \frac{4,6 \times 10^{-14}}{X_0} \quad (2.29)$$

$$X_0 = \frac{c}{\sqrt{2 \times \epsilon_{reff}}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{f} \quad (2.30)$$

Dimana :

$X_0$  = Dimensi *inset – feed*

$c$  = Kecepatan gelombang elektromagnetik ( $3 \times 10^8$  / ms)

$fr$  = Frekuensi resonansi ( GHz)

$\epsilon_{reff}$  = Konstanta dielektrik efektif

Kemudian untuk mencari dimensi panjang dari *inset – feed* dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.33)[28].

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left( \sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \quad (2.31)$$

Dimana  $Z_{in}$  dan  $R_{in}$  merupakan nilai input impedansi dan nilai input resistansi refleksi. Untuk dimensi panjang pada saluran *inset – feed* dapat dicari menggunakan persamaan (2.34 – 2.37) :

$$Z_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{w} \right)^2 \quad (2.32)$$

$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}} = R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (2.33)$$



$$G_1 = \frac{1}{90} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W \ll \lambda_0 \quad (2.34)$$

$$G_1 = \frac{1}{120} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W \gg \lambda_0 \quad (2.35)$$

Dimana  $Y_{in}$  merupakan nilai total resonansi masukan antenna, yang digunakan untuk menentukan besarnya nilai  $R_{in}$  diperlukan pada konduktansinya yaitu  $G_1$  [28].

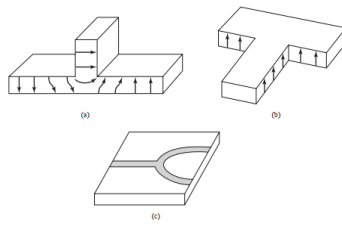
### 2.2.12 Antena Array

Antena *array* merupakan antenna yang terdiri dari dua atau lebih antenna identik yang dirancang untuk meningkatkan *gain* dan *directivity* antenna yang mengarahkan daya pancar ke sudut yang diinginkan. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan saat menggabungkan elemen, yaitu pada saluran mikrostrip penghubung dapat menyebabkan terjadinya kondisi tidak *matching* sehingga perlu dilakukan iterasi kembali.

Beberapa konfigurasi antenna *array* yaitu *linear*, *planar*, dan *circular*. Antena *array linear* memiliki elemen di pusat pada satu garis lurus, sementara antenna *array planar* memiliki elemen disusun membentuk area seperti kotak. Sedangkan antenna *array circular* memiliki elemen *array* di pusat suatu lingkaran dengan radius tertentu. Konfigurasi antenna *array* yang umum digunakan yaitu berbentuk *linear* atau *planar*. Pada antenna *array* terdapat *array factor* (AF) yang merupakan vektor pengali dari medan elektrik dari elemen tunggal. *Array factor* inilah yang akan menentukan bagaimana polarisasi dan seberapa besar tingkat daya yang diradiasikan dari antenna tersebut[20].

### 2.2.13 T – Junction Power Divider

*T – junction power divider* merupakan jaringan *three – port* sederhana yang digunakan untuk membagi daya atau penggabungan daya pada antenna. *T – Junction* dapat diimplementasikan pada semua jenis saluran transmisi. *T – Junction* biasanya berada dibawah bagian *feeder* yang menghubungkan ke *port*, yang mana *T – Junction* ini digunakan untuk membagi daya ke beberapa antenna. Pada Gambar 2.19 menunjukkan beberapa jenis sambungan *T – Junction* yang umum digunakan dalam pemandu gelombang dan pada antenna mikrostrip[29].



**Gambar 2. 19 Bentuk *T* – Junction Power Divider (a) *E Plane waveguide*, (b) *H Plane waveguide* (c) *Microstrip waveguide*[29]**