

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian [3] membahas mengenai perlunya penilaian spektrum frekuensi 5G terhadap tiga faktor model rekayasa ekonomi. Dengan tujuan untuk mengatasi suatu kondisi tertentu seperti, perlakuan khusus untuk kawasan industri dan mendukung industri dengan spektrum yang lebih lebar dan beragam frekuensi. Menggunakan studi kasus pada Kawasan industri di Jakarta dengan pita frekuensi 2600 MHz, 3500 MHz, 26 GHz dan 28 GHz. Faktor pertama merupakan sisi dari *engineering* untuk dapat memaksimalkan 5G *cellular coverage*. Faktor kedua (sisi ekonomi) yaitu, *capital expenditures* (CAPEX) dan *operating expenditures* (OPEX) per kilometer persegi. Faktor ketiga, sisi ekonomi untuk nilai spektrum per MHz per populasi. Hasil yang didapat adalah penggunaan 26 GHz/28 GHz (*mmWave*) untuk layanan 5G memerlukan investasi layanan yang lebih besar jika dibandingkan dengan 2600 MHz dan 3500 MHz (*midband*). Pada *midband* dan *mmWave band*, kepadatan populasi memiliki pengaruh terhadap penilaian spektrum untuk 5G.

Penelitian [6] membahas tentang metode *Double U-slot* dan DGS pada antenna mikrostrip *rectangular* yang disusun secara MIMO 4X4. Antena dirancang menggunakan substrat *RT Duroid 5880* yang dapat bekerja di frekuensi 26 GHz. Antena dicatu menggunakan metode *proximity coupled feed* yang dapat meningkatkan *bandwidth* dengan memanfaatkan dua *substrate* dielektrik. Dimana satu substrat digunakan sebagai elemen yang meradiasi dan substrat lainnya sebagai saluran pencatu dan *groundplane* di bagian bawahnya. Dari hasil penelitian tersebut metode *double U-slot* dapat meningkatkan nilai *bandwidth* dan *gain* namun nilai *return loss* akan semakin buruk. Sedangkan penggunaan metode DGS dapat menghasilkan nilai *mutual coupling* yang lebih baik. Dari hasil penelitian ini didapat nilai *bandwidth* tertinggi 1,6564 GHz, nilai *mutual coupling*  $\leq -20$  dB dan *gain* bernilai 7,1151 dB.

Penelitian [11] membahas mengenai perancangan antenna 5G menggunakan metode *inset feed line* sehingga dapat bekerja secara *multiband*. Antena dirancang menggunakan *software* HFSS dan substrat FR-4 dengan nilai konstanta dielektrik

4,4. Pada sub-6 GHz antenna memiliki frekuensi kerja 2.4 GHz, 2.8 GHz, 4.1 GHz, 5.5 GHz, 5.9 GHz, 6.6 GHz, 7.9 GHz dan 9.3 GHz. Sedangkan pada *millimetrewave-band* (mmwave) antenna dapat bekerja pada frekuensi 14.601 GHz, 23.3.01 GHz dan 28.9 GHz. Pemilihan *patch rectangular* menghasilkan nilai *gain* yang baik yaitu 6.28 dB pada Sub-6 GHz *multiband antenna* dan 5.44 dBi untuk *millimetrewave multiband antenna*. Hasil dari simulasi parameter VSWR, *return loss* dan direktivitas sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Antena multiband ini dapat digunakan untuk sistem komunikasi 5G WiFi, WiMax, *Bluetooth* dan WLAN *applications*.

Penelitian [12] membahas mengenai pengaruh material dan ketebalan substrat terhadap *bandwidth* pada antenna *ultra-wideband* (UWB). Terdapat 3 material substrat yaitu FR4 *epoxy*, *Taconic* RF-30™ dan *Rogers* RT/Duroid 5880™. Dilakukan pengamatan pada parameter *return loss*, *operating bandwidth* dan *bandwidth*. Pada substrat FR4 *epoxy* dengan konstanta dielektrik 4,4 didapatkan nilai *return loss* -28,35 dB, *operating bandwidth* 3,15-22,85 GHz dan *bandwidth* 19,7 GHz. Pada substrat *Taconic* RF-30™ dengan konstanta dielektrik 3 didapatkan nilai *return loss* -26,99 dB, *operating bandwidth* 33,28-23,54 GHz dan *bandwidth* 20,26 GHz. Pada substrat *Rogers* RT/Duroid 5880™ dengan konstanta dielektrik 2,2 didapatkan nilai *return loss* -36,98 dB, *operating bandwidth* 3,6- >24 GHz dan *bandwidth* > 20,4 GHz. Didapatkan hasil terbaik pada antenna dengan substrat *Rogers* RT/Duroid 5880™. Menggunakan bahan substrat dengan konstanta dielektrik yang lebih tinggi dalam desain antenna UWB mikrostrip *patch rectangular* dapat menurunkan efisiensi antenna sekaligus mengurangi ukuran antenna.

Penelitian [10] meneliti perbandingan tiga rancangan antenna dengan bentuk *patch* elips. Ketiga antenna memiliki perbedaan pada jenis substrat dan letak slot pada *ground*. Antena pertama menggunakan substrat RT5880 tanpa slot pada *ground* memiliki hasil *return loss* sebesar -41.31 dB, VSWR 1.017, *bandwidth* 1.1336 GHz dan *gain* 4.45 dBi. Antena kedua menggunakan substrat FR4 dengan slot yang berada di tengah *ground* memiliki hasil *return loss* sebesar -43.95 dB, VSWR 1.013, *bandwidth* 1.0265 GHz dan *gain* 4.36 dBi. Antena ketiga menggunakan substrat FR4 dengan posisi dan lebar slot yang berbeda dari antenna

kedua. Hasil yang didapat yaitu *return loss* sebesar -20.44 dB, VSWR sebesar 1.21, *bandwidth* 2.1562 GHz dan *gain* 4.42 dBi. Dari ketiga rancangan, antenna ketiga merupakan antenna yang paling optimal dikarenakan *bandwidth* yang dihasilkan sangat tinggi yaitu hingga 2 GHz.

Penelitian [7] membahas mengenai pengaruh jumlah elemen antenna terhadap *gain* antenna. Dengan menggunakan variasi elemen antenna yaitu 2, 3, 4 dan 10 elemen. Pada antenna dengan jumlah elemen 2 didapatkan nilai *gain* sebesar 2 dB. Pada antenna dengan jumlah elemen 3 didapatkan nilai *gain* sebesar 5 dB. Pada antenna dengan jumlah elemen 4 didapatkan nilai *gain* sebesar 9 dB. Pada antenna dengan jumlah elemen 10 didapatkan nilai *gain* sebesar 19 dB. Sehingga jumlah elemen antenna berbanding lurus dengan *gain* antenna.

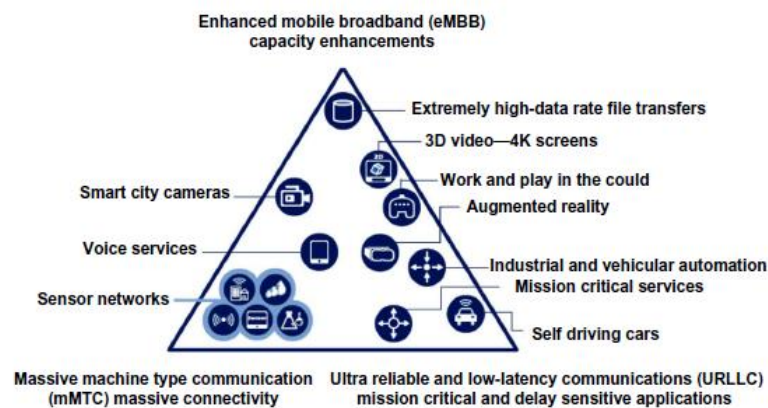
Penelitian [13] membahas mengenai pengaruh jarak antar elemen dan penggunaan DGS terhadap nilai *mutual coupling*. Antenna berkerja pada frekuensi *milimeter wave* 28 GHz dengan pemodelan MIMO 2x2. Hasil dari analisis jarak antar elemen  $\lambda/2$  merupakan jarak yang paling ideal karena menghasilkan *gain* yang lebih baik jika dibandingkan dengan  $\lambda/4$  dan  $\lambda/8$ . Pada rancangan awal *gain* bernilai 7,89 dBi. Setelah menggunakan DGS terjadi peningkatan sebesar 0,165 dBi sehingga nilai *gain* antenna menjadi 8,055 dBi.

Berdasarkan kajian teori, antenna yang dirancang lebih banyak menggunakan substrat RT5880. Namun, keberadaan substrat tersebut masih terbatas di Indonesia. Selain itu penggunaan frekuensi di *mmWave* memiliki kekurangan dari segi luas cakupan dan investasi yang lebih mahal. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan perancangan serta analisis dari antenna MIMO yang paling sederhana yaitu 2X2, untuk meningkatkan *gain* dan laju data. Antenna dirancang pada frekuensi 3,5 GHz yang sesuai untuk area urban. Menggunakan FR4 sebagai bahan substrat yang tersedia di Indonesia dengan permitivitas *relative* 4,4 sesuai dengan standar. Antenna yang dirancang menggunakan *patch rectangular* yang memiliki konfigurasi terbaik dari bentuk *patch* lainnya. Dengan pencatuan *microstrip feedline* yang mudah untuk dibuat.

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Teknologi 5G

Bertambahnya jumlah dan jenis perangkat yang terkoneksi internet serta keterbatasan teknologi 4G, telah memacu upaya dan investasi industri dalam pengembangan teknologi seluler pada generasi kelima (5G). Teknologi 5G adalah ekosistem dari perangkat yang terhubung satu sama lain dengan cepat, aman dan andal. Melalui virtualisasi dan arsitektur *software-defined network* (SDN), sistem pada 5G akan memiliki performa dengan batasan baru seperti konektivitas yang lebih besar, *throughput* yang lebih tinggi, pemanfaatan spektrum yang makin efisien, *bandwidth* lebih lebar, latensi yang rendah, pemakaian daya yang lebih rendah, keandalan dan mobilitas yang tinggi sehingga dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan. Teknologi 5G dapat mengoptimalkan penggunaan dan jaringan untuk diterapkan pada *use case* dan model bisnis yang luas, cerdas dan menguntungkan. [14]



**Gambar 2.1 Use case 5G [14].**

Terdapat tiga *use case* 5G yaitu, *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra Reliable and Low-latency Communications* (URLLC), dan *Massive Machine Type Communications* (mMTC). Kemampuan eMBB mengacu pada kecepatan data maksimum yang dapat dicapai dengan *peak data rate* yaitu 20 Gb/s, kecepatan mobilitas pengguna hingga 500 km/h dengan tetap menjaga QoS (*Quality of Service*) dan kemampuan untuk menyediakan layanan di daerah pada penduduk (*dense area*) dimana total lalu lintas di seluruh area cakupan adalah 1000 Mbpsm<sup>2</sup>. Untuk URLLC terdapat persyaratan dengan latensi yang sangat rendah yaitu 1 ms serta memiliki target mobilitas yang sama dengan eMBB. Sedangkan pada mMTC

target dari jumlah perangkat per unit area yang dapat terhubung ke jaringan adalah sebesar 10.000 perangkat per km<sup>2</sup> [15].

### 2.2.2 Spektrum Frekuensi Teknologi 5G

Salah satu faktor utama dari perkembangan dan penerapan 5G adalah tersedianya spektrum. Pada teknologi 5G spektrum yang ada digunakan secara efisien dan menambahkan spektrum baru. Teknologi sebelum 5G seperti 4G LTE (*Long Term Evolution*) menggunakan spektrum frekuensi yang relatif rendah, sehingga cocok untuk digunakan dalam layanan eMBB dan implementasi mMTC.

Hal ini disebabkan pita frekuensi rendah memiliki area cakupan yang lebih luas disertai dengan jumlah konektivitas *user* yang baik. Selain itu, penggunaan frekuensi yang sama dapat dilakukan pada pita frekuensi rendah tanpa memerlukan jarak yang sangat jauh antara masing-masing *base station*. Pemasaran teknologi 5G menargetkan implementasi yang sederhana dan hemat biaya pada spektrum tersebut.

Penataan ulang frekuensi (*refarming frequency*) pada spektrum ini menjadi keuntungan dari implementasi 5G. Oleh karena itu, spektrum pada teknologi komunikasi seluler sebelumnya (2G, 3G, 4G) akan digunakan untuk 5G. Sementara pada komunikasi seluler sebelumnya, frekuensi mmwave belum pernah digunakan karena keterbatasan teknologi, sehingga penggunaannya merupakan salah satu hal yang baru pada teknologi seluler [16].

3GPP telah menentukan rentang frekuensi pada 5G:

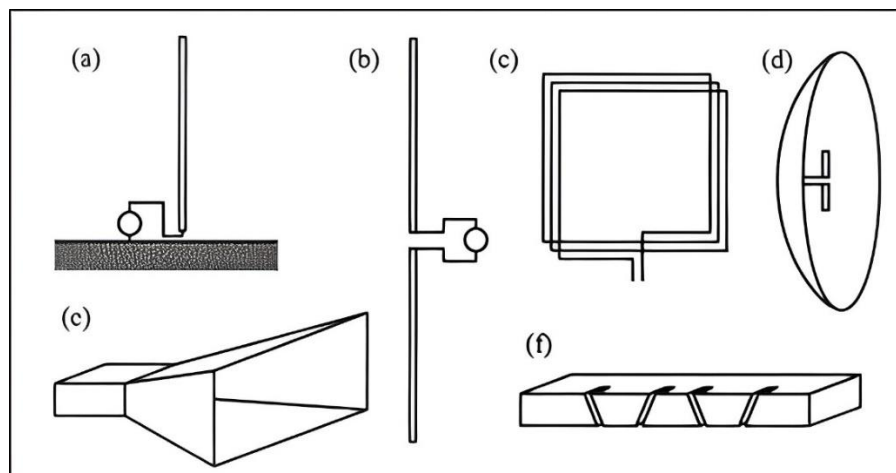
- a) Rentang frekuensi 1 (450 MHz s.d. 6 GHz)
- b) Rentang frekuensi 2 (24.25 GHz s.d. 52.60 GHz)

Penentuan rentang frekuensi ini memungkinkan persyaratan yang berbeda di setiap rentangnya. Misalnya, pemisahan untuk setiap rentang frekuensi didasarkan oleh sensitivitas dan *out-of-band emission*.

Persyaratan ini memperhitungkan UE (*user equipment*) dan implementasi jaringan yang berbeda tergantung pada rentang frekuensi. Misalnya pada UE dengan *frequency range 2* kemungkinan akan dilengkapi dengan antena yang memiliki kemampuan *beamforming*. Sebaliknya, pada UE dengan *frequency range 1* cenderung dilengkapi dengan sejumlah kecil elemen antena yang didistribusikan di sekitar perangkat [16].

### 2.2.3 Antena

Antena adalah sebuah struktur atau perangkat yang digunakan untuk mengumpulkan atau memancarkan gelombang elektromagnetik. Antena mengubah gelombang elektromagnetik yang merambat di sepanjang media transmisi menjadi gelombang elektromagnetik yang dapat merambat di ruang bebas. Transformasi ini dapat berlangsung secara dua arah. Antena pemancar mengubah gelombang saluran transmisi menjadi gelombang di ruang bebas. Sementara itu, antena penerima mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang saluran transmisi. Antena adalah perangkat yang bersifat timbal balik, pada prinsipnya, setiap antena dapat digunakan untuk menerima dan mengirimkan gelombang elektromagnetik. Pada antena ada hal-hal penting yang perlu diperhatikan yaitu, volume, berat dan stabilitas mekanis. Untuk antena pemancar, kekuatan sinyal transmisi juga harus diperhitungkan. *Wavelength* dari frekuensi kerja suatu antena juga memengaruhi ukuran antena, semakin pendek *wavelength* maka ukuran antena juga akan semakin kecil.



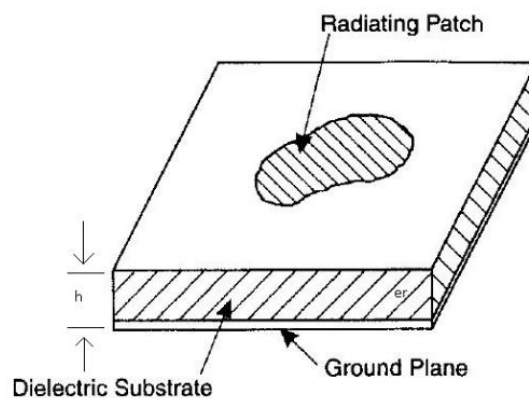
**Gambar 2. 2 Perbedaan tipe antena: (a) antena *monopole*, (b) antena *dipole*, (c) antena *loop*, (d) *parabolic reflector antenna*, (e) antena *horn*, dan (f) slot antena [17].**

Pada Gambar 2. 2 menunjukkan jenis antena. Dengan menggunakan prinsip cermin, bagian kawat dapat diposisikan tegak lurus terhadap bidang penghantar. Ini menghasilkan antena *monopole* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 2 (a). Antena jenis ini sering digunakan dalam rentang *medium-wave* dan *short-wave*. Dalam hal ini, medan konduktif dihasilkan oleh permukaan bumi. Jenis antena yang umum digunakan adalah antena *dipole*, ditunjukkan pada Gambar 2. 2 (b). Antena

*dipole* biasanya terdiri dari dua kawat lurus dan dipicu oleh sumber yang ditempatkan diantara segmen ini. Antena *loop* yang ditunjukkan pada Gambar 2. 2 (c) memengaruhi *dual* medan terhadap medan yang dipengaruhi oleh antena *dipole*. *Loop* dibentuk oleh satu atau lebih putaran kawat. Gambar 2. 2 (d) menunjukkan contoh kombinasi *dipole* dengan reflektor parabola. Oleh reflektor parabola, gelombang bola yang dihasilkan oleh *dipole* diubah menjadi gelombang yang hampir bidang. Gambar 2. 2 (e) menunjukkan antena *horn*. Antena *horn* dibentuk dengan memperluas arah gelombang secara kerucut. Jika bukan *horn* lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang, daya yang dipancarkan dapat terkonsentrasi pada arah tertentu. Selain itu, antena *horn* memiliki direktivitas yang tinggi dibandingkan dengan radiator isotropik yang diharapkan. Gambar 2. 2 (f) merupakan gambar dari *slot* antena. Jika dalam arus dinding arus gelombang terganggu oleh *slots*, maka energi elektromagnetik dapat dipancarkan melaluo *slots* tersebut. Direktivitas antena dapat ditingkatkan dengan menggabungkan beberapa antena ke dalam susunan antena atau dengan menggunakan reflektor [17].

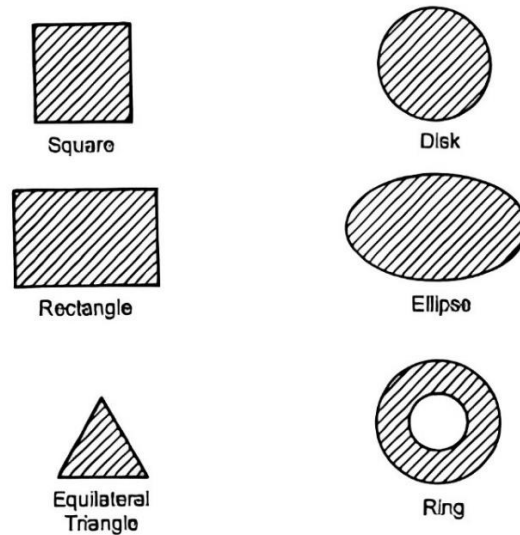
#### 2.2.4 Antena Mikrostrip

Konsep antena mikrostrip pertama kali diusulkan oleh Descamps pada awal tahun 1950-an dan baru dikembangkan pada tahun 1970-an oleh Munson dan Howell. Antena mikrostrip ini merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator disejumlah sistem telekomunikasi modern seperti saat ini, seperti *Personal Communication System (PCS)*, *Mobile Satellite Communications*, *Direct Broadcast Television (DBS)*, *Radio Detection and Ranging (Radar)* dan *Global Positioning System (GPS)*.



**Gambar 2. 3 Susunan antena mikrostrip [18].**

Pada Gambar 2. 3 menunjukkan susunan dari antenna mikrostrip. Secara umum antenna mikrostrip mempunyai tiga bagian yaitu elemen pemancar (*patch* antenna), saluran transmisi, dan *ground plane* yang dapat dicetak pada satu atau lebih substrat dielektrik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. 3 dimana parameter  $h$  adalah ketebalan substrat, *loss tangent* ( $\tan \delta$ ) yang merupakan rugi-rugi dielektrik, dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik substrat.



**Gambar 2. 4 Bentuk dasar antenna mikrostrip [18].**

Dalam perancangan antenna mikrostrip, terdapat empat bentuk dasar antenna mikrostrip, yaitu segiempat, lingkaran, *ring* (cincin), dan segitiga sama sisi yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. Bentuk segiempat dan lingkaran merupakan bentuk antenna mikrostrip yang paling umum karena bentuknya yang sederhana. Pada bentuk *ring* (cincin), diperlukan dua antenna mikrostrip berbentuk lingkaran yang masing-masing mempunyai jari-jari dalam serta jari-jari luar. Untuk ukuran bidang pemancar yang paling kecil adalah bentuk segitiga sama sisi [5].

Kelebihan dari antenna mikrostrip adalah sederhana, efisien, murah dan mudah dibuat. Selain itu, rancangan antenna mikrostrip dapat beroperasi dalam *dual* polarisasi atau multi frekuensi. Karena kelebihanannya, perancang antenna telah menjadikan antenna mikrostrip sebagai antenna pilihan untuk sistem komunikasi nirkabel dan seluler komersial. Namun antenna mikrostrip juga memiliki kekurangan yaitu, *bandwidth* yang sempit, *gain* yang terbatas dan daya yang rendah. Rendahnya daya pada antenna mikrostrip disebabkan kecilnya jarak antara *patch* dan *ground plane* [5], [19].



### 2.2.5 Antena Mikrostrip *Rectangular*

Antena mikrostrip *patch rectangular* merupakan bentuk *patch* yang paling banyak digunakan dan mudah untuk didesain karena bentuknya yang sederhana. Antena mikrostrip *patch rectangular* juga dapat menghasilkan *gain* yang tinggi [9] [11]. Rumus untuk mengetahui nilai dimensi dari susunan antena mikrostrip seperti *patch* dan *ground plane* dapat dilihat pada persamaan berikut [5]:

Lebar *Patch* ( $W_p$ ):

$$W_p = \frac{C}{2f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

Nilai Konstanta Dielektrik Efektif ( $\epsilon_{eff}$ ):

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h_s/W_p}} \right) \quad (2.2)$$

Efek medan tepi pada *patch* ( $\Delta L$ ):

$$\Delta L = 0,412 h_s \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left( \frac{W_p}{h_s} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left( \frac{W_p}{h_s} + 0,8 \right)} \quad (2.3)$$

Panjang *Patch* ( $L_p$ ):

$$L_{eff} = L_p + 2\Delta L \text{ atau } L_{eff} = \frac{C}{2f_c \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.4)$$

Untuk menentukan lebar *ground plane* ( $W_g$ ) dan panjang *ground plane* ( $L_g$ ) digunakan persamaan berikut [6]:

$$W_g \geq 6h_s + W_p \quad (2.5)$$

$$L_g \geq 6h_s + L_p \quad (2.6)$$

Dimensi dari substrat dan *ground plane* memiliki kesamaan sehingga digunakan persamaan (2.5) dan (2.6) untuk menentukan dimensi substrat.

Keterangan:

$W_p$  : lebar *patch* (mm)

$L_p$  : panjang *patch* (mm)

$C$  : kecepatan gelombang elektromagnetik ( $3 \times 10^8$  m/s)

$f_c$  : frekuensi *center* (GHz)

$h_s$  : tebal substrat (mm)

$\Delta L$  : efek medan tepi pada *patch*

$\epsilon_r$  : konstanta dielektrik substrat

$\epsilon_{eff}$  : konstanta dielektrik efektif

$L_{eff}$  : panjang efektif antena (mm)

$W_g$  : lebar *patch* (mm)

$L_g$  : panjang *patch* (mm)

### 2.2.6 Parameter Antena Mikrostrip

Untuk mengetahui tingkat performansi dari suatu rancangan maka diperlukan parameter. Berikut merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi dari rancangan antena yang telah dibuat:

#### 1) Frekuensi resonansi

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja antena. Rentang frekuensi kerja antena dapat dilihat dari grafik VSWR dan grafik *return loss*. Dari grafik yang ditampilkan frekuensi kerja harus memenuhi nilai VSWR  $\leq 2$  dan nilai *return loss*  $\leq -9,54$  dB [5].

#### 2) Return loss

*Return loss* merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang di pantulkan terhadap amplitudo gelombang yang ditransmisikan. *Return loss* dapat terjadi sebab ada ketidaksinambungan yang terjadi diantara saluran transmisi dan impedansi masukan beban (antena), sehingga menyebabkan sebagian daya yang dipancarkan kembali dipantulkan. Perbandingan antara gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang dipancarkan atau sering disebut dengan koefisien korelasi tegangan ( $\Gamma$ ) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

Dimana :

$\Gamma$  : koefisien refleksi tegangan

$V_0^-$  : tegangan yang dipantulkan (Volt)

$V_0^+$  : tegangan yang dikirimkan (Volt)

$Z_L$  : impedansi beban atau *load* (ohm)

$Z_0$  : impedansi saluran *lossless* (ohm)

Nilai *return loss* dapat dicari dengan cara memasukkan koefisien refleksi tegangan kedalam persamaan berikut:

$$Return\ loss = 20 \log_{10}|\Gamma| \quad (2.8)$$

Nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -9,54 dB, sehingga dapat dikatakan bahwa nilai gelombang yang ditransmisikan yaitu saluran transmisi dalam kondisi yang sesuai. Oleh karena itu, frekuensi kerja antena yang baik adalah saat *return loss*-nya bernilai  $\leq -9,54$  dB. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Namun, ada standar yang memiliki persyaratan lebih kompleks [5].

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

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah rasio antara amplitudo gelombang berdiri maksimum ( $|V|_{max}$ ) dan minimum ( $|V|_{min}$ ). Untuk mengetahui nilai VSWR maka digunakan rumus berikut:

$$S = \frac{|\tilde{V}|_{max}}{|\tilde{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.9)$$

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus sederhana dimana bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol, maka:

- a.  $\Gamma=-1$ : refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat.
- b.  $\Gamma=0$ : tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.
- c.  $\Gamma=+1$ : refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Kondisi terbaik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ), yang berarti ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna tidak ada refleksi yang dihasilkan. Namun, kondisi ini sulit dipenuhi dalam prakteknya. Oleh karena itu, nilai standar VSWR yang dapat diterima dalam simulasi dan fabrikasi antena mikrostrip adalah  $VSWR \leq 2$  [5].

### 4) Impedansi masukan

Impedansi masukan adalah rasio tegangan terhadap arus. Impedansi masukan antena dapat dianggap sebagai impedansi antena pada terminalnya. Impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) terdiri dari bagian real ( $R_{in}$ ) dan imajiner ( $X_{in}$ ) yang dapat di tuliskan sebagai berikut:

$$Z_{in} = (R_{in} + jX_{in})\Omega \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) menunjukkan bahwa komponen yang diharapkan adalah daya *real*, yang menggambarkan jumlah daya yang hilang melalui panas atau radiasi. Komponen imajiner mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena [5].

### 5) *Bandwidth*

*Bandwidth* adalah besar rentang frekuensi kerja antena. Nilai *bandwidth* dapat diketahui jika nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas antena diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas adalah nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena. Namun, dalam perancangan disepakati juga bahwa, frekuensi atas atau frekuensi bawah yang merupakan frekuensi kerja dari antena. Terdapat rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui besar suatu *bandwidth* dari antena:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana:

BW : *bandwidth* (Hz)

$f_2$  : frekuensi atas (Hz)

$f_1$  : frekuensi bawah (Hz)

$f_c$  : frekuensi tengah (Hz)

*Bandwidth* antena biasanya dinyatakan sebagai presentase *bandwidth* karena bersifat lebih konstan terhadap frekuensi. Selain itu, *bandwidth* antena mikrostrip juga dapat direpresentasikan sebagai rentang frekuensi antara peningkatan nilai VSWR dari satu sampai batas nilai yang dapat ditoleransi [5].

### 6) *Gain*

*Gain* adalah rasio radiasi dari antena pada suatu arah utama terhadap radiasi dari antena isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama, dan dapat dirumuskan:

$$G = D \cdot \eta \quad (2.12)$$

Dengan D adalah *directivity* dan  $\eta$  adalah efisiensi antena (%).

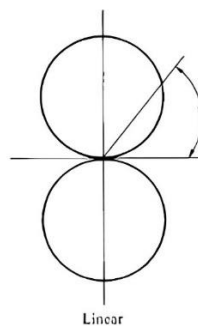
Ada dua jenis parameter *gain*, yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* antenna diartikan sebagai rasio intensitas dalam arah tertentu dengan intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Sedangkan *relative gain* didefinisikan sebagai rasio perolehan daya searah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang telah ditentukan [5].

### 7) Pola radiasi

Pola radiasi adalah fungsi matematis atau representasi grafis dari karakteristik radiasi antenna sebagai fungsi ruang. Sifat radiasi meliputi kerapatan fluks, intensitas radiasi, kuat medan atau polarisasi. Biasanya, sifat radiasi yang paling utama adalah distribusi energi yang diradiasikan antenna baik secara tiga dimensi ataupun dua dimensi [5].

### 8) Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang dipancarkan oleh antenna. Jika arahnya tidak ditentukan, maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah gain maksimum. Polarisasi gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan magnitude vektor medan elektrik yang bervariasi terhadap waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang dipancarkan dan didapatkan oleh antenna dengan arah tertentu.



**Gambar 2. 5 Polarisasi linear pada antenna mikrostrip [20].**

Polarisasi *linear* dapat terjadi ketika, suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik atau magnet pada titik tersebut dan selalu sejajar dengan garis lurus yang sama

pada setiap waktu. Hal ini dapat terjadi jika vektor elektrik atau magnet memenuhi:

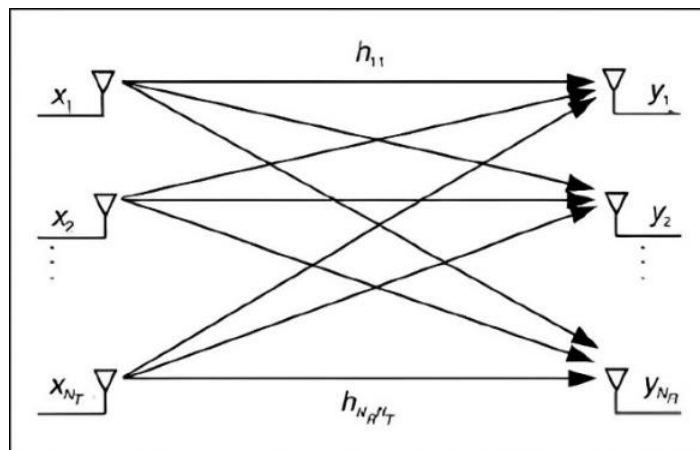
- a. Hanya terdapat 1 komponen.
- b. Dua komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau  $180^\circ$  atau kelipatannya [5].

### 9) *Mutual coupling*

*Mutual coupling* adalah suatu efek gandengan (*coupling*) yang terjadi pada antenna bersusun dimana muncul tegangan pada salah satu elemen antenna akibat adanya arus dari elemen antenna yang berdekatan. Salah satu penyebabnya adalah gelombang permukaan. Bila jarak antar elemen semakin berdekatan, efek *mutual coupling* akan semakin meningkat. Jarak antar elemen antenna diperlukan untuk mencegah *mutual coupling*. Akan tetapi, jarak antar antenna juga dapat diminimalkan untuk mengurangi ukuran antenna dengan syarat tetap memenuhi kondisi *mutual coupling* kurang dari -20 dB [20].

### 2.2.7 MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Dalam komunikasi *wireless*, proses transmisi dapat melemahkan sinyal dari pengirim ke penerima. Hal ini disebabkan adanya propagasi *multipath* dan *shadowing* yang disebabkan oleh hambatan pada jalur transmisi, sehingga menjadi tantangan dalam sistem komunikasi *wireless* yang andal.



**Gambar 2. 6 Model sistem MIMO [21].**

Proses transmisi menggunakan antenna *multiple-input multiple-output* (MIMO) adalah salah satu teknik yang dapat meningkatkan keandalan komunikasi *wireless*. MIMO merupakan teknik pada sistem antenna *wireless* yang menggunakan

sejumlah elemen untuk meningkatkan kualitas sinyal. Setiap antenna yang berada di kedua ujung sistem menyediakan jalur independen dalam lingkungan *multipath fading*. Jalur independen yang terbentuk pada saluran MIMO memungkinkan transmisi sinyal informasi terjadi secara simultan. Sehingga kecepatan transfer data meningkat (*gain multiplexing*) [21], [22].

Penyusunan antenna secara MIMO dapat menghasilkan *mutual coupling* sehingga diperlukan jarak antar elemen. Untuk mengetahui jarak antar elemen yang ideal dapat digunakan persamaan berikut [11]:

$$d = \frac{\lambda}{2} \text{ dengan } \lambda = \frac{c}{f} \quad (2.13)$$

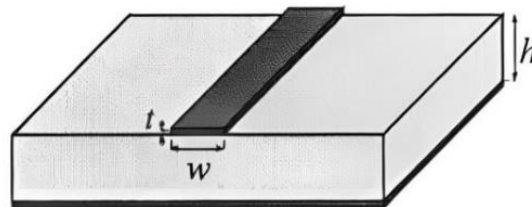
Dimana:

d: jarak antar elemen (mm)

$\lambda$ : Panjang gelombang (mm)

### 2.2.8 Teknik Pencatuan *Microstrip Feed Line*

Terdapat empat jenis teknik pencatuan yang umum digunakan yaitu, *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*. Pencatuan *microstrip feed line* yaitu saluran pencatu yang berada pada lapisan yang sama dengan elemen peradiasi dan pada umumnya pencatu memiliki lebar yang lebih sempit dibandingkan elemen peradiasi.



**Gambar 2. 7 *Microstrip feed line* [17].**

*Microstrip feed line* mudah dibuat, mudah dicocokkan dengan mengontrol posisi *inset* dan agak sederhana untuk dimodelkan. Namun seiring bertambahnya ketebalan substrat, gelombang permukaan dan radiasi umpan palsu meningkat, yang untuk desain praktis membatasi *bandwidth* (biasanya 2–5%). Panjang ( $L_f$ ) dan lebar ( $W_f$ ) dari saluran antenna mikrostrip dapat dihitung menggunakan rumus berikut [6], [20]:

$$L_f = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.14)$$

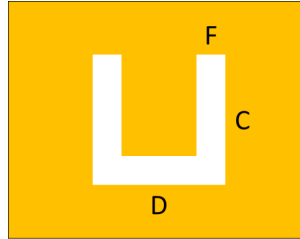
$$W_f = \frac{2h_s}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (2.15)$$

Dimana,

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.16)$$

### 2.2.9 Metode *U-slot*

Penggunaan metode slot merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperlebar *bandwidth* pada antena mikrostrip. Metode slot memiliki bentuk yang beragam sehingga dapat memengaruhi hasil dari antena yang dirancang. Salah satu jenis *slot* yang sering digunakan adalah *U-slot*. Pada metode *U-slot bandwidth* dapat meningkat hingga 50%. Penggunaan metode *double U-slot* pada antena mikrostrip *patch rectangular* menghasilkan peningkatan *bandwidth*. Perancangan antena dengan metode *double U-slot* dapat menghasilkan peningkatan *bandwidth* yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode *U-slot* tunggal [6], [8], [9].



**Gambar 2.8** Penggambaran bentuk dan letak *U-slot* pada *patch* [6]

Posisi dari *u-slot* pada *patch* yang terdiri dari F, C dan D dapat dilihat pada Gambar 2.8. Posisi slot pada *patch* saat menerapkan metode *u-slot* merupakan salah satu tantangan tersendiri supaya hasil yang didapat sesuai dengan ketentuan sebelumnya [6].

Dimensi dari *U-slot* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F = \frac{\lambda}{60} = \frac{c}{f \times 60} \quad (2.17)$$

$$C \geq 0,3W_p \quad (2.18)$$

$$D = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L_p + \Delta L - F) \quad (2.19)$$

Untuk perhitungan *U-slot* kedua [6]:

$$F_2 = \frac{F}{2}; \quad C_2 = \frac{C}{2}; \quad D_2 = \frac{D}{2} \quad (2.20)$$



### **2.2.10 Metode *Defected Ground Structure* (DGS)**

Selain *bandwidth* yang sempit, adanya gelombang permukaan yang menyebabkan penurunan efisiensi antena juga menjadi kekurangan dari penggunaan antena mikrostrip. Penggunaan dari metode DGS (*Defected Ground Structure*) dapat mengatasi kekurangan tersebut [23]. *Defected ground structure* (DGS) adalah sebuah metode dengan memangkas atau menghilangkan sebagian dari komponen *ground*, sehingga dapat menekan gelombang permukaan, meningkatkan *bandwidth* serta memperbaiki nilai *return loss* [24], [25].