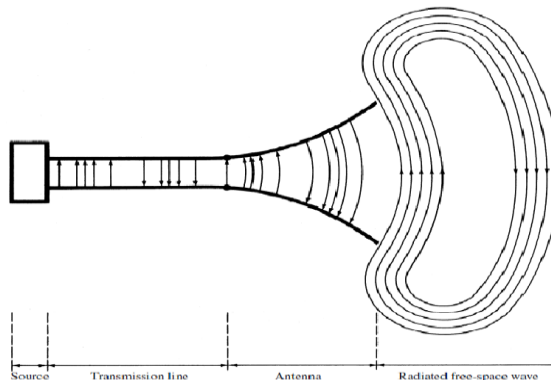


BAB II

DASAR TEORI

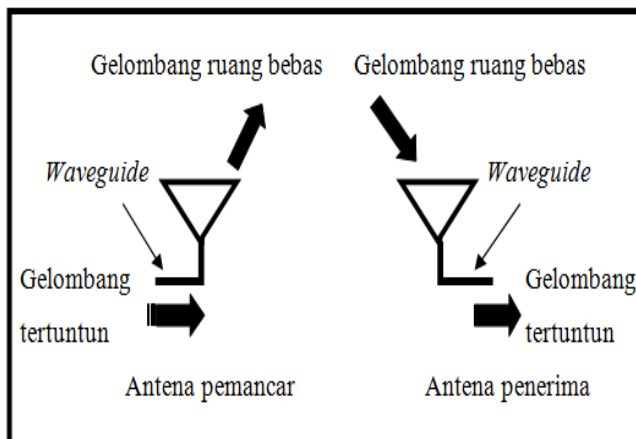
2.1 Antena

Berdasarkan kamus *Webster's Dictionary* antena didefinisikan sebagai suatu perangkat yang terbuat dari bahan logam seperti berbentuk batang untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Berdasarkan konsep IEEE, mendefinisikan antena sebagai alat untuk memancarkan dan menerima gelombang radio. Antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas dengan perangkat tertuntun seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Perangkat tertuntun atau saluran transmisi dapat berupa kabel *coaxial* atau pipa yang digunakan untuk menghantarkan gelombang elektromagnetik dari pemancar ke penerima^[2].



Gambar 2.1. Transisi antena^[2]

Antena merupakan komponen dalam sistem komunikasi radio gelombang radio yang berfungsi untuk memancarkan dan atau menerima gelombang elektromagnetik. Prinsip kerja antena sebagai pemancar yaitu dengan mengubah gelombang tertuntun di dalam saluran transmisi menjadi gelombang merambat di ruang bebas. Antena sebagai penerima bekerja dengan mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun. Pemanfaatan antena pada sistem telekomunikasi *wireless* diantaranya yaitu berupa telekomunikasi *broadcast* seperti pada televisi, radio dan telekomunikasi dengan menggunakan gelombang radio^[3]. Prinsip kerja antena secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Prinsip kerja antena ^[3]

2.2 Jenis-Jenis Antena

Antena terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuknya yaitu:

1. Antena *Wire*

Antena *wire* memiliki bentuk yang bervariasi yaitu antena *wire straight*, *loop* dan *helix*. Antena *wire* sering digunakan pada benda yang sering digunakan untuk kegiatan sehari-hari. Antena *wire straight* sering digunakan di mobil sebagai antena radio^[4]. Bentuk dari antena *wire straight* ditunjukkan pada gambar 2.3

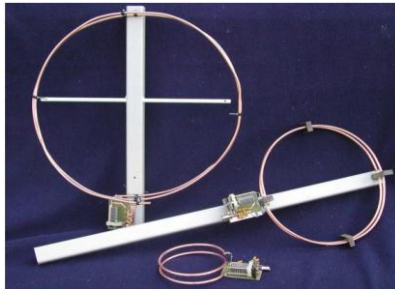


Gambar 2.3. Antena *Wire Straight*^[4]

2. Antena *Loop*

Antena *loop* merupakan antena yang memiliki bentuk dan konfigurasi yang berulang. Antena *loop* secara umum berbentuk lingkaran tetapi pada dasarnya dapat

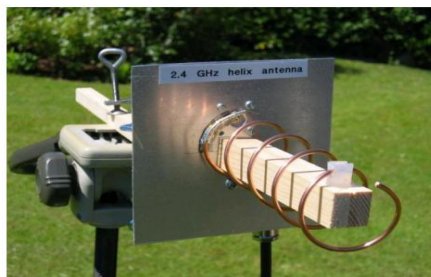
dikonfigurasi dengan bentuk lain seperti persegi atau persegi panjang^[4]. Bentuk antenna *loop* ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Antena *Loop*^[4]

3. Antena *helix*

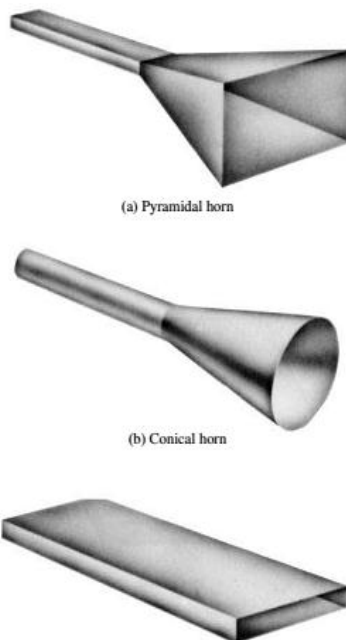
Antena *helix* merupakan antenna dengan bentuk *helix* dimana konfigurasi setiap lapisan *helix* memiliki jarak dan diameter yang sama^[4]. Antena *helix* biasanya digunakan untuk kebutuhan komunikasi astronomi. Bentuk antenna *helix* ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Antena *helix*^[4]

4. Antena *Aperture*

Antena *aperture* merupakan antena yang biasa digunakan pada pesawat terbang atau pesawat luar angkasa karena sesuai digunakan di wilayah dengan ketinggian cukup tinggi. Antena *aperture* dicover oleh bahan yang dapat melindungi antena tersebut dari bahaya lingkungan seperti pada ketinggian tertentu^[4]. Bentuk dari antena *aperture* ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Antena *Aperture*^[2]

5. Antena *reflector*

Antena *reflector* merupakan antena yang memantulkan ulang gelombang elektromagnetik sesuai dengan jalur yang seharusnya. Antena *reflector* biasanya digunakan untuk komunikasi jarak jauh seperti pada luar angkasa. antena *reflector* ditunjukkan pada gambar 2.7 yaitu antena *reflector* parabola yang biasanya digunakan sebagai antena perusahaan TV dan komunikasi satelit^[4].



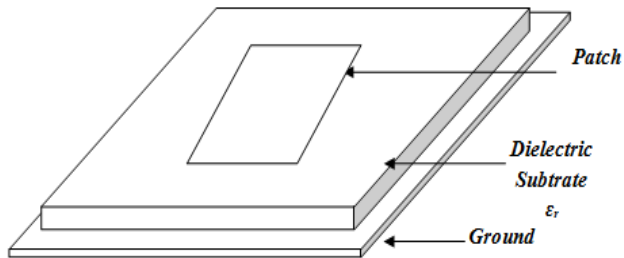
Gambar 2.7. *Reflector parabolic*^[4]

6. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang terbuat dari bahan konduktor tembaga dan dielektik substrat yang berukuran sangat tipis^[4].

2.3 Antena Mikrostrip

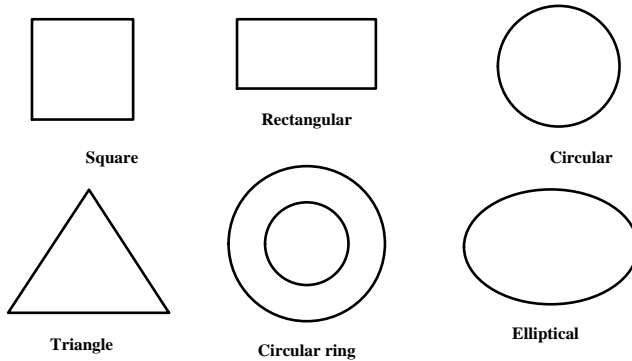
Antena mikrostrip merupakan antena dengan bentuk fisik dan ukuran yang cukup minimalis dan relatif murah. Antena mikrostrip dapat digunakan untuk perangkat yang memperhatikan ukuran, berat, biaya dan kemudahan instalasi seperti pada komunikasi *mobile* dan *headset*. Antena mikrostrip dapat bekerja pada rentang frekuensi 1 GHz sampai dengan 6 GHz^[4]. Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan utama yaitu *patch*, *substrat* dan *ground plane* seperti ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Struktur antena mikrostrip^[3]

Patch merupakan lapisan teratas dari suatu antena mikrostrip. *Patch* terbuat dari bahan konduktor yang umum digunakan yaitu tembaga. *Patch* merupakan komponen yang bekerja meradiasikan gelombang elektromagnetik ke

udara. Bentuk *patch* dari antenna mikrostrip bermacam-macam seperti ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bentuk *patch*^[5]

Pada penulisan skripsi ini antenna mikrostrip yang dibahas yaitu antenna mikrostrip dengan bentuk *patch* rektanguler.

Lapisan *substrate* merupakan lapisan kedua pada struktur antenna mikrostrip. *Substrate* merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai dielektrik dan ketebalan yang berbeda dari *patch* dan *groundplane*. *Substrate* merupakan lapisan yang memisahkan *patch* dengan *groundplane*.

Groundplane merupakan lapisan terbawah dari antenna mikrostrip. *Groundplane* pada umumnya terbuat dari bahan yang sama dengan *patch* yaitu konduktor tembaga.

Penggunaan antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, kelebihan antena mikrostrip yaitu^[5]:

1. Relatif lebih mudah untuk dirancang karena ukurannya yang minimalis dan ringan.
2. Pabrikasi yang cukup sederhana dan dengan biaya yang relatif murah.
3. Mudah terintegrasi dengan gelombang elektromagnetik dan perangkat saluran transmisi.
4. Lebih mudah diproduksi dalam jumlah yang banyak.

Sedangkan kekurangan dari antena mikrostrip yaitu:

1. Bekerja pada *bandwidth* yang terbatas atau sempit.
2. Memiliki *gain* yang rendah.
3. Sensitif terhadap kehilangan daya pada saluran pencatu.
4. Rentan terhadap gelombang permukaan.

2.3.1 Parameter Antena Mikrostrip

Kinerja dari antena mikrostrip dapat dilihat dari beberapa parameter, berikut parameter yang digunakan untuk melihat kinerja dari antena mikrostrip:

1. *Bandwidth*

Bandwidth antena merupakan rentang frekuensi kinerja antena. Antena bekerja pada batasan

frekuensi tertentu. *Bandwidth* antena dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2^[6]:

$$BW = f_h - f_l \dots\dots\dots 2.1$$

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

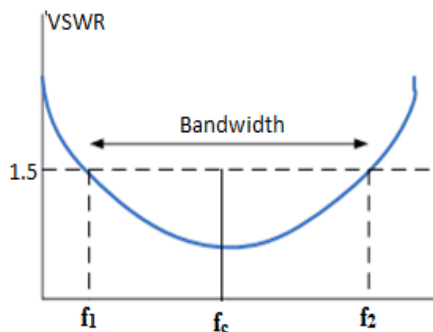
Dengan:

f_h : frekuensi tertinggi (MHz)

f_l : frekuensi terendah (MHz)

f_c : Frekuensi tengah (MHz)

Pada penulisan skripsi ini frekuensi tertinggi yang digunakan yaitu 2400 MHz, frekuensi terendah yaitu 2300 MHz dan frekuensi tengah yaitu 2350 MHz. Ilustrasi dari *bandwidth* ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Bandwidth*^[1]

2. Voltage standing wave ratio (VSWR)

VSWR merupakan perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan minimum yang ada pada saluran transmisi. Nilai VSWR dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.3^[6].

$$VSWR = \frac{|1+\Gamma|}{|1-\Gamma|} \dots\dots\dots 2.3$$

Nilai VSWR yang diijinkan untuk kinerja antena yaitu ≤ 2 ^[6]. Γ merupakan koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tegangan yang dipantulkan dengan tegangan yang dikirim. Koefisien refleksi dapat didefinisikan dalam tiga kondisi, yaitu^[7]:

$\Gamma = -1$; refleksi negatif yaitu ketika saluran terhubung singkat.

$\Gamma = 0$; tidak ada refleksi yaitu ketika saluran transmisi dalam keadaan *matching* sempurna.

$\Gamma = 1$; refleksi positif yaitu ketika saluran dalam keadaan terbuka.

Koefisien refleksi didefinisikan dalam bentuk persamaan 2.4^[8]:

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan:

Z_{in} : impedansi antena (Ω)

Z_0 : impedansi karakteristik (Ω)

3. *Return loss*

Return loss merupakan perbandingan antara tegangan dari gelombang yang dipantulkan dengan tegangan dari gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dipengaruhi oleh impedansi pada saluran transmisi. *Return loss* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.5:

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \dots\dots\dots 2.5$$

Dengan menggunakan nilai $\text{VSWR} \leq 2$ nilai *return loss* minimal yang dibutuhkan dalam transmisi antenna yaitu $\leq -9,54 \text{ dB}^{[7]}$.

4. *Gain*

Gain atau penguatan didefinisikan sebagai kekuatan daya antenna antara antenna dengan antenna referensi pada arah tertentu. Secara sederhana antenna mengarahkan pancaran dengan meradiasikan daya sama besar ke segala arah dan *gain* merupakan karakteristik dari daya yang dipancarkan^[9].

5. Impedansi

Impedansi merupakan keterkaitan tegangan dan arus pada sistem transmisi antenna. Impedansi

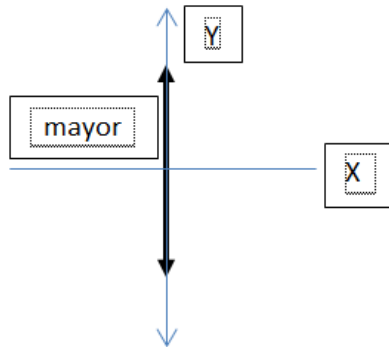
antena dipengaruhi oleh objek yang ada disekitar antenna. Impedansi antenna berkaitan dengan resistansi atau tahanan disipasi dan reaktansi input. Disipasi terjadi karena adanya panas pada struktur antenna yang berkaitan dengan perangkat keras yang terhubung dengan antenna^[6].

6. Polarisasi

Polarisasi yaitu pola pancar dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna. Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan medan elektrik yang bervariasi. Polarisasi diklasifikasikan menjadi tiga yaitu, polarisasi *linear*, *circular* (melingkar) dan *elliptical* (elips)^[6]. Polarisasi ditentukan berdasarkan nilai dari *axial ratio* (AR). *Axial ratio* (AR) merupakan perbandingan antara sumbu mayor dengan sumbu minor^[10]. Sumbu mayor adalah sumbu terpanjang atau jarak terpanjang dilihat dari pola pancar antenna. Sumbu minor adalah sumbu terpendek atau jarak terpendek dilihat dari pola pancar antenna.

A. Polarisasi *Linear*

Polarisasi *linear* terjadi ketika gelombang elektromagnetik bergerak selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Polarisasi *linear* dapat dilihat pada gambar 2.11.

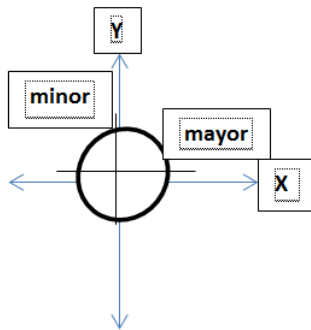


Gambar 2.11 Polarisasi *linear*^[10]

Polarisasi *linear* dibagi menjadi dua yaitu polarisasi horizontal dan polarisasi vertikal. Polarisasi horizontal yaitu polarisasi yang arah perambatan gelombangnya ke arah horizontal terhadap permukaan bumi. Polarisasi vertikal yaitu polarisasi yang arah perambatan gelombangnya ke arah vertikal terhadap permukaan bumi. Polarisasi linear terjadi ketika $axial\ ratio = \infty$ ^[10].

B. Polarisasi Melingkar

Polarisasi melingkar terjadi ketika gelombang elektromagnetik yang terpancar berubah menurut waktu dan membentuk pola melingkar. Polarisasi melingkar terjadi ketika sumbu mayor sama dengan sumbu minor, sehingga *axial ratio* (AR) bernilai 1^[10] atau sumbu mayor sama dengan sumbu minor. Polarisasi melingkar ditunjukkan pada gambar 2.12.



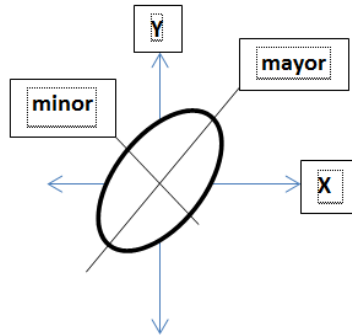
Gambar 2.12 Polarisasi melingkar^[10]

C. Polarisasi Elips

Polarisasi elips terjadi ketika perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor tidak sama dengan satu. Polarisasi elips terjadi dengan

membandingkan sumbu mayor dan sumbu minor^[10].

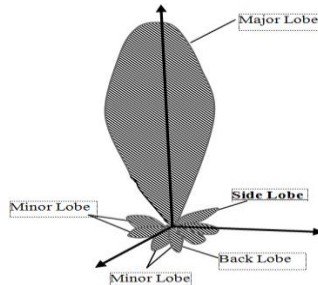
Polarisasi elips dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Polarisasi elips^[10]

7. Pola radiasi^[11]

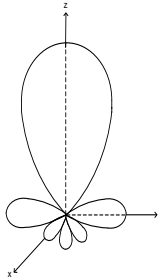
Pola radiasi merupakan suatu gambaran grafis dari sifat pancaran antenna yang dihasilkan sebagai fungsi dari parameter koordinat ruang. Pada umumnya, pola radiasi ditentukan pada pola daerah medan jauh dan digambarkan sebagai fungsi koordinat arah sepanjang radius tetap. Gambaran pola radiasi ditunjukkan pada gambar 2.14.

Gambar 2.14 Pola radiasi^[11]

Main lobe atau *major* merupakan daerah yang pola pancarnya paling besar. *Side lobe* atau dikategorikan menjadi *first side lobe* dan *second side lobe*. *First side lobe* merupakan *minor lobe* yang paling dekat dengan *side lobe* dan *second side lobe* merupakan *minor lobe* yang terjauh dari *minor lobe*. Sedangkan *back lobe* merupakan *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.

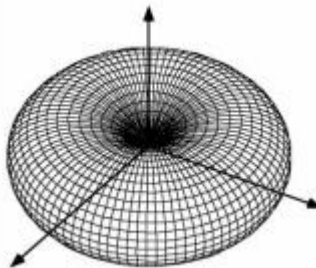
A. Pola Radiasi *Directional*

Pola *directional* yaitu pola radiasi yang memiliki arah pancaran terkuat pada satu arah tertentu dibanding dengan arah lain. Pola *directional* ditunjukkan pada gambar 2.15.

Gambar 2.15 Pola radiasi *Directional*^[11]

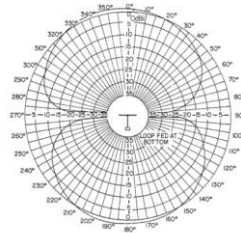
B. Pola Radiasi *Omni-directional*

Pola radiasi *omnidirectional* merupakan pola yang terbentuk ketika antena memiliki arah pancaran ke segala arah sama atau memiliki pola radiasinya 360° pada saat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik. Gambar 2.16 merupakan bentuk pola radiasi *omni-directional*.

Gambar 2.16 Pola *Omni-directional*^[11]

a. Pola Radiasi *Bidirectional*

Pola radiasi *bidirectional* merupakan pola yang memiliki radiasi yang sama besar ke dua titik arah pada saat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik. Gambar 2.17 merupakan bentuk pola *bidirectional*.



Gambar 2.17 Pola radiasi *Bidirectional*^[11]

8. Koefisien Korelasi^[12]

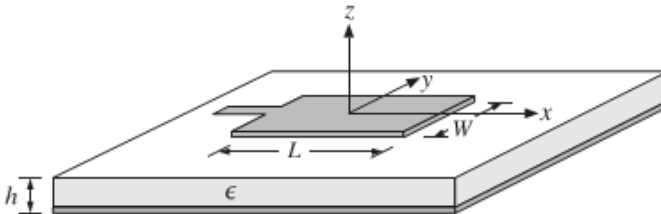
Koefisien korelasi (ρ) pada antenna mikrostrip MIMO berkaitan dengan hubungan antara nilai pada parameter S. Antena MIMO bekerja dengan menggunakan *multiple* antenna, untuk mengetahui nilai koefisien korelasi pada antenna mikrostrip dengan menggunakan persamaan [2.6]:

$$\rho = \frac{|S_{11} * S_{12} + S_{21} * S_{22}|^2}{(1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2))(1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2))} \dots\dots 2.6$$

Nilai S_{11} , S_{12} , S_{22} dan S_{21} diperoleh dari parameter pada simulasi dan pengukuran untuk perancangan antenna MIMO. Nilai koefisien korelasi pada sistem antenna MIMO yang ideal yaitu 0.

2.4 Antena Mikrostrip *Patch* Persegi Panjang (*Rectangular*)

Antena mikrostrip *rectangular* merupakan antenna mikrostrip yang dirancang bagian *patch* berbentuk *rectangular* atau persegi panjang. Antena mikrostrip dirancang sesuai dengan gambar 2.18.



Gambar 2.18 Struktur Mikrostrip rektanguler

Dari gambar 2.18 dapat dilihat komponen dari dimensi antenna mikrostrip rektngular yaitu panjang, lebar dan tebal.

Nilai untuk lebar atau *width patch* (W) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7^[13]:

$$W = \frac{c}{2xf_c \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

W : lebar *patch* (mm)

C : Kecepatan cahaya di ruang bebas yaitu 3×10^8 m/s

f_0 : Frekuensi kerja dari antena (MHz)

ϵ_r : Konstanta dielektrik dari bahan substrat

Perhitungan panjang atau *length patch* (L) dengan menggunakan ΔL yaitu pertambahan panjang dari L itu sendiri karena pada antena mikrostrip rectangular pada sisi panjang *patch* ada *fringing effect*. Pertambahan panjang ΔL dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8^[2]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

h : tebal *patch* (mm)

ϵ_{eff} merupakan nilai *effective dielectric constant* yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9^[2]:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

Pada persamaan 2.8 h merupakan tebal dari penggunaan tembaga pada antena mikrostrip dengan nilai konstan.

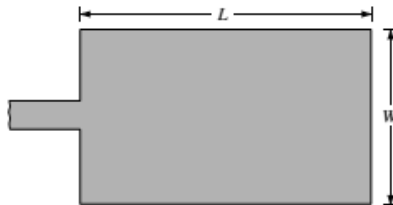
Untuk nilai panjang *patch* (L) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10^[13]:

$$L(mm) = L_{eff} - 2\Delta L \dots\dots\dots (2.10)$$

L_{eff} merupakan panjang efektif dari antenna rectangular yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11^[13]:

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \cdot f_0 \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Antena mikrostrip dirancang dengan disertai saluran pencatu. Saluran pencatu dirancang dengan memperhatikan panjang, lebar dan impedansi dari antenna. Perancangan saluran pencatu, menggunakan bahan yang sama dengan *patch*, pada pencatuan saluran pencatu pada satu sisi akan disatukan. Saluran pencatu yang dirancang yang akan dihubungkan dengan menggunakan *port* untuk digunakan sebagai media transmisi. Saluran pencatu pada antenna mikrostrip ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Saluran pencatu antenna mikrostrip^[2]

Dimensi dari saluran pencatu dihitung dengan ketentuan yang berkaitan dengan impedansi dari perancangan antenna. Perancangan saluran pencatu yaitu dengan menentukan

lebar dari saluran pencatu dengan menggunakan persamaan 2.12^[14].

$$Wst = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan nilai B^[14] :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} ; \dots\dots\dots (2.13)$$

ϵ_r = Konstanta dielektrik dari bahan substrat

Z_0 = Impedansi beban antenna (Ω)

B = impedansi saluran (Ω)

Maka dapat dicari karakteristik saluran mikrostrip dengan ada dua kondisi, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.14) dan (2.15).

a. Karakteristik saluran pencatu untuk $w/h < 1$

Konstanta dielektrik relatif

$$\epsilon_r \text{ relatif} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \dots\dots (2.14)$$

b. Karakteristik saluran pencatu untuk $w/h > 1$

Konstanta dielektrik relatif^[2]

$$\epsilon_r \text{ relatif} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Agar memiliki kondisi *matching* dapat dilakukan dengan cara menambah transformator $\lambda/2$. Transformator $\lambda/2$ merupakan suatu teknik *impedance matching* dengan cara

memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T diantara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Panjang saluran transmisi (l_{st}) transformator $\lambda/2$ ini seperti pada persamaan (2.16).

$$l_{st} = \frac{\lambda_g}{2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana λ_g (m) merupakan panjang gelombang untuk penggunaan bahan dielektrik seperti pada persamaan (2.17).

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r \text{ relatif}}}} \dots\dots\dots (2.17)$$

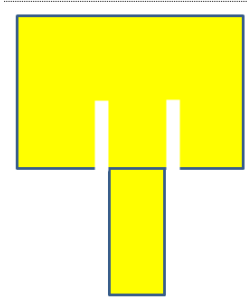
$$\lambda_0 = \frac{c}{f_c} \dots\dots\dots (2.18)$$

λ_0 merupakan panjang gelombang diruang bebas

2.5 Teknik *E-Shaped*

E-shaped merupakan salah satu teknik optimasi pada perancangan antenna mikrostrip.

E-shaped merupakan pemotongan bagian bagian *patch* yang menyatu sejajar dengan saluran pencatu, sehingga menyerupai huruf E. *E-shaped* berpengaruh pada penurunan nilai *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Optimasi *E-shaped* ini diikuti dengan perubahan pada ukuran dimensi antenna mikrostrip pada sisi panjang dan lebar. Bentuk *E-shaped* ditunjukkan pada gambar 2.20.

Gambar 2.20 Teknik *E-shaped*

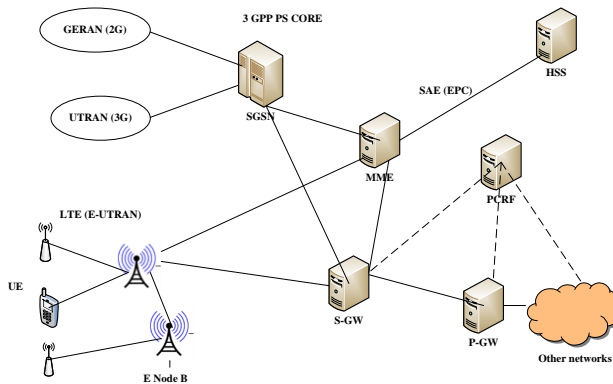
2.6 Long Term Evolution (LTE)^[15]

Long Term Evolution (LTE) merupakan jaringan akses radio keluaran dari *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) dengan kriteria sebagai berikut:

1. Kecepatan *downlink* data mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat bergerak pelan atau diam. Sedangkan untuk *uplink* kecepatan akses mencapai 50 Mbps.
2. Sistem tunda berkurang hingga 10 ms.
3. Meningkatkan layanan *broadcast*.
4. Menggunakan penyambungan IP *Packet Switch* (PS).
5. Penggunaan *bandwidth* tersedia mulai dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz.

LTE merupakan rangkaian jaringan dengan *System Architecture Evolution* (SAE) yang merupakan generasi keempat menurut standard 3GPP.

LTE juga dikenal sebagai *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) sedangkan SAE sendiri memiliki nama lain *Evolved Packet Core* (EPC). EPC bekerja berdasarkan prinsip *Packet Switch* (PS). Arsitektur jaringan LTE dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Arsitektur LTE^[15]

Arsitektur LTE terdiri dari 2 bagian utama yaitu LTE atau E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) dan SAE (*System Architecture Evolution*) atau EPC (*Evolved Packet Core*).

Fungsi dari perangkat yang ada pada bagian LTE yaitu:

- a. *User Equipment* (UE) merupakan perangkat komunikasi. Perangkat ini dapat berupa telepon genggam, tablet, komputer ataupun perangkat yang dapat terhubung langsung dengan jaringan internet.

b. *Evolved NodeB (e node B)* merupakan antarmuka jaringan LTE dengan pengguna.

Pada bagian SAE setiap perangkat juga memiliki fungsi masing-masing yaitu:

- a. *Serving Gateway (S-GW)* berfungsi untuk mengatur jalur dan meneruskan paket data dari UE.
- b. *Packet Data Network Gateway (PG-W)* berfungsi mengatur koneksi jaringan data antara UE dengan jaringan paket data lain di luar 3GPP seperti WLAN dan Wimax.
- c. *Mobility Management Entity (MME)* merupakan pengatur utama dari setiap perangkat pada jaringan LTE.
- d. *Policy And Charging Rules Function (PCRF)* berfungsi untuk menentukan *Quality of Service (QoS)* dan *charging* untuk setiap UE.
- e. *Home Subscriber Server (HSS)* merupakan sistem *database* yang bertugas untuk membantu MME dalam melakukan manajemen pelanggan dan pengamanan.

Teknologi telekomunikasi seluler modern memungkinkan komunikasi dua arah secara *downlink* dan *uplink* atau disebut *duplex transmission*. Pada sistem *duplex transmission* ada dua cara yaitu^[16]:

1. *Frequency Division Duplex (FDD)* merupakan teknik penransmisian komunikasi yang menggunakan

frekuensi yang berbeda secara *uplink* dan *downlink*. Jarak antara frekuensi *uplink* dan *downlink* disebut dengan *duplex distance*.

2. *Time Division Duplex* (TDD) merupakan tehnik penransmisian komunikasi secara *uplink* dan *downlink* menggunakan frekuensi yang sama tetapi pada waktu yang berbeda. Terdapat pertukaran waktu yang sangat cepat antara komunikasi *uplink* dan *downlink* sehingga komunikasi secara kontinyu tetap dapat berlangsung.

Alokasi frekuensi untuk jaringan 4G LTE menurut standar 3GPP ditunjukkan pada tabel 2.1.

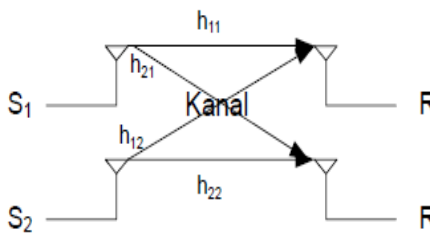
Tabel 2.1 Alokasi frekuensi 4G LTE^[15]

<i>Operating Band</i>	<i>UL (MHz)</i>	<i>DL (MHz)</i>	<i>Duplex Mode</i>
...
33	1900-1920		TDD
34	2010-2025		TDD
35	1850-1910		TDD
36	1930-1990		TDD
37	1910-1930		TDD
38	2570-2620		TDD
39	1880-1920		TDD
40	2300-2400		TDD
...

Penulisan skripsi ini membahas mengenai perancangan antenna mikrosotrip MIMO dengan bentuk rektangular yang diaplikasikan untuk jaringan LTE dengan menggunakan frekuensi tengah yaitu 2350 MHz dengan rentang frekuensi dari 2300 MHz – 2400 MHz.

2.7 *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*^[15]

Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan sistem dengan menggunakan banyak *input* dan banyak *output*. Pada sistem jaringan *Long Term Evolution (LTE)* sistem antenna yang digunakan yaitu antenna MIMO. Penulisan skripsi ini membahas perancangan antenna MIMO dengan menggunakan 2 buah antenna. Sehingga akan ada empat jalur transmisi yang digunakan yang berkaitan dengan koefisien korelasi. Ilustrasi konsep MIMO ditunjukkan pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 Sistem Antena MIMO^[16]

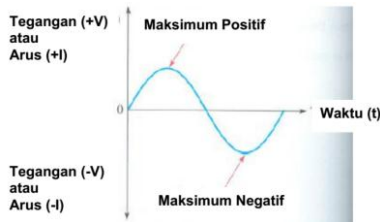
Dari gambar 2.22 jumlah antenna *input* dan *output* yang digunakan yaitu masing-masing dua antenna. Maka ada empat jalur transmisi yang akan muncul. Pada sisi penerima, setiap antenna akan menerima sinyal dari semua sinyal yang dikirimkan oleh pengirim. Semakin banyak objek pemantul gelombang elektromagnetik yang ada disekitar antenna akan mempengaruhi keakuratan sinyal yang diterima. MIMO merupakan teknik multi antenna yang sekaligus dapat berfungsi sebagai *spatial multiplexing* dimana antenna dapat mengirimkan data yang berbeda. Pada sistem MIMO, beberapa data dapat ditransmisikan secara bersamaan pada frekuensi yang sama dan waktu yang sama. Data yang dikirimkan harus dapat menyesuaikan dengan jumlah antenna pengirim dan jumlah antenna penerima. Pada sistem MIMO jumlah antenna pengirim bisa lebih banyak dari pada jumlah data yang dikirim. Tetapi jumlah data yang dikirim tidak dapat melebihi jumlah antenna pengirim yang tersedia. Apabila data yang dikirim berjumlah N dengan antenna pengirim kurang dari N maka data tersebut tidak dapat dikodekan kembali meskipun jumlah antenna penerima sama dengan jumlah data yang dikirim atau lebih. Kondisi ini menyebabkan data *overlapping* akibat kurangnya jumlah antenna *diversity* sehingga terjadi interferensi. Pada sistem MIMO, transmisi dari setiap antenna dibedakan dengan kode

unik yang dapat diidentifikasi oleh penerima. Identifikasi pada istem MIMO biasanya dilakukan oleh pilot signal yang menggunakan pola *orthogonal* pada setiap antena. MIMO dapat bekerja baik pada lingkungan yang memiliki *line of sight* sedikit. Oleh karena itu MIMO dapat bekerja maksimal didaerah *indoor*.

MIMO dapat digunakan untuk meningkatkan kehandalan link dengancara mengurangi *multipath fading*. Replika sinyal informasi yang dikirimkan melalui antena yang berbeda atau disebut *spatial diversity*. Dengan mengirimkan beberapa aliran data secara paralel pada waktu yang bersamaan, MIMO dapat meningkatkan kapasitas pengiriman data tanpa perlu menambah *bandwidth* atau disebut dengan *spatial multiplexing*.

2.8 Gelombang Sinusoidal^[17]

Gelombang sinusoidal merupakan gelombang dasar dari tegangan. Gambar 2.23 menunjukkan bentuk umum dari gelombang sinus dapat berupa tegangan atau arus bolak balik. Tegangan dinyatakan sebagai sumbu vertikal dan waktu dinyatakan sebagai sumbu horizontal. Tegangan berubah terhadap waktu.



Gambar 2.23 Gelombang sinusoidal

Polaritas gelombang sinus adalah antara nilai positif dan nilai negatif. Apabila sumber tegangan sinusoidal dihubungkan pada rangkaian resistif maka akan menghasilkan arus bolak balik. Jika polaritas tegangan berubah, maka arus yang dihasilkan akan mengikuti perubahan. Periode dalam gelombang sinusoidal merupakan waktu yang diperlukan untuk satu siklus penuh dari gelombang sinus. Gelombang sinus secara terus menerus berulang kembali ke bentuk awal. Karena semua siklus perputaran gelombang sinus adalah sama maka periode menjadi tetap.

Frekuensi dalam gelombang sinus adalah banyaknya siklus yang terjadi dalam satuan detik. Bila dalam satu detik terjadi beberapa siklus maka dapat dikatakan gelombang tersebut memiliki frekuensi yang tinggi.

Pembangkitan tegangan sinusoidal dapat dilakukan secara elektromagnetik dan elektronik. Secara

elektromagnetik gelombang sinus dibangkitkan melalui generator AC, dan secara elektronik gelombang sinus dibangkitkan melalui rangkaian osilator. Perumusan gelombang sinusoidal dalam kuantitas listrik sebagai tegangan dan arus ditunjukkan pada persamaan^[17]:

$$I = I_m \sin \omega t \dots\dots\dots 2.19$$

$$V = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots 2.20$$

Dengan:

I : arus (*Ampere*)

V: tegangan (*Volt*)

Im dan Vm : nilai puncak dari bentuk gelombang

ωt : fasa

2.9 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) pada Saluran Transmisi^[18]

Amplitudo maksimum terjadi ketika ada constructive interferensi gelombang pantul pada fasa, dan amplitudo minimum terjadi ketika ada *destrutive interference* yang berlawanan dengan fasa. Sama dengan proses terjadinya gelombang berdiri, tegangan dan arus sepanjang jalur transmisi juga mengalami hal yang sama jika terdapat pantulan di sepanjang saluran transmisi. Dengan asumsi adanya pantulan, rumusan umum untuk menentukan tegangan ditunjukkan pada persamaan 2.21^[18]:

$$\hat{V}(z) = \widehat{V}_m^+ e^{-j\beta z} + \widehat{V}_m^- e^{j\beta z} + \widehat{V}_m^- e^{-j\beta z} - \widehat{V}_m^+ e^{-j\beta z} \dots(2.21)$$

Dimana persamaan $\widehat{V}_m^+ e^{-j\beta z}$ telah ditambahkan dan dikurangi dari rumusan umum tegangan. Persamaan 2.21 disusun ulang menjadi persamaan 2.22^[18]:

$$\hat{V}(z) = \underbrace{\widehat{V}_m^+ (1 + \hat{\Gamma}) e^{-j\beta z}}_{\text{Traveling wave}} + \underbrace{2j\hat{\Gamma} \sin \beta z}_{\text{standing wave}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana $\hat{\Gamma} = \frac{\widehat{V}_m^-}{\widehat{V}_m^+}$

Pada persamaan 2.22 gelombang dari amplitudo $V_m^+ (1 + \hat{\Gamma})$ dan gelombang sepanjang arah z, dan persamaan kedua menunjukkan gelombang berdiri dari amplitudo.

Ilustrasi untuk proses pembentukan gelombang berdiri yaitu:

1. $\hat{\Gamma} = 0$, tanpa ada pantulan pada saluran transmisi, tegangan pada saluran transmisi dirumuskan dengan persamaan 2.23^[18].

$$v(z, t) = V_m^+ \cos(\omega t - \beta z + \phi^+) \dots\dots\dots(2.24)$$

2. $\hat{\Gamma} = -1$, terjadi *short circuit* pada terminasi saluran transmisi dengan rumusan tegangan yaitu^[18]:

$$v(z, t) = V_m^+ \sin \beta z \sin(\omega t + \phi^+) \dots\dots\dots(2.25)$$