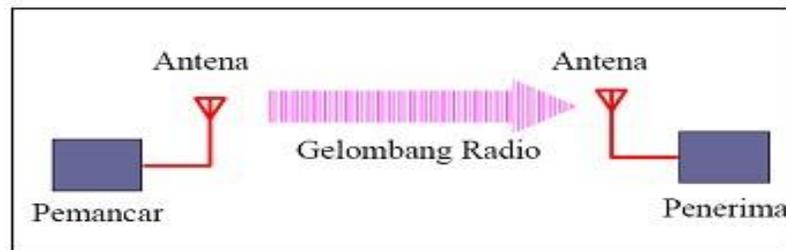


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antena

Antena adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik kemudian memancarkannya ke ruang bebas atau sebaliknya yaitu menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Antena juga tergolong sebagai Transduser karena dapat mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya.^[1]



Gambar 2.1 Komunikasi Menggunakan Antena^[2]

Antena adalah salah satu elemen penting yang harus ada pada sebuah teleskop radio, Televisi, radar, dan semua alat komunikasi nirkabel lainnya. Sebuah antena adalah bagian vital dari suatu pemancar atau penerima yang berfungsi untuk menyalurkan sinyal radio ke udara. Bentuk antena bermacam macam sesuai dengandesain, pola penyebaran dan frekuensi dangain. Panjang antena secara efektif adalah panjang gelombang frekuensi radio yang dipancarkannya. Antena dipol setengah gelombang adalah sangat populer karena mudah dibuat dan mampu memancarkan gelombang radio secara efektif.

2.1.1 Fungsi Antena

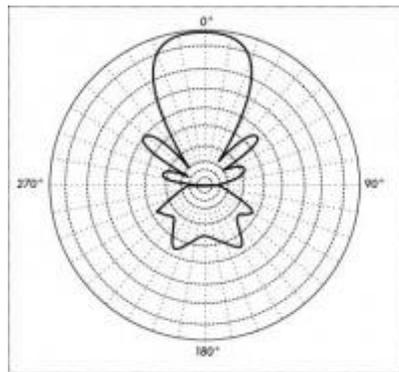
Antena berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik, lalu meradiasikannya (Pelepasan energy elektromagnetik ke udara/ruang bebas). Dan sebaliknya, antena juga dapat berfungsi untuk menerima

sinyal elektromagnetik (Penerima energy elektromagnetik dari ruang bebas) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Pada radar atau sistem komunikasi satelit, sering dijumpai sebuah antena yang melakukan kedua fungsi (peradiasi dan penerima) sekaligus. Namun, pada sebuah teleskop radio, antena hanya menjalankan fungsi penerima saja.^[3]

2.1.2 Karakteristik Antena

Ada beberapa karakter penting antena yang perlu dipertimbangkan dalam memilih jenis antena untuk suatu aplikasi, yaitu pola radiasi, directivity, gain, dan VSWR.

1. Pola Radiasi



Gambar 2.2 Pola Radiasi Antena^[4]

Pola radiasi antena adalah plot 3-dimensi distribusi sinyal yang dipancarkan oleh sebuah antena, atau plot 3-dimensi tingkat penerimaansinyal yang diterima oleh sebuah antena. Pola radiasi antena dibentuk oleh dua buah pola radiasi berdasar bidang irisan, yaitu pola radiasi pada bidang irisan arah elevasi (pola elevasi) dan pola radiasi pada bidang irisan arah azimuth (pola azimuth).

Kedua pola di atas akan membentuk pola 3-dimensi. Pola radiasi 3-dimensi inilah yang umum disebut sebagai pola radiasi antena dipol. Sebuah antena yang meradiasikan sinyalnya sama besar ke segala arah disebut sebagai antena isotropis.

Antena seperti ini akan memiliki pola radiasi berbentuk bola. Namun, jika sebuah antena memiliki arah tertentu, di mana pada arah tersebut distribusi sinyalnya lebih besar dibandingkan pada arah lain, maka antena ini akan memiliki directivity. Semakin spesifik arah distribusi sinyal oleh sebuah antena, maka directivity antenna tersebut.

Antena dipol termasuk non-directive antenna. Dengan karakter seperti ini, antena dipol banyak dimanfaatkan untuk sistem komunikasi dengan wilayah cakupan yang luas. Pada astronomi radio, antena dipol digunakan pada teleskop radio untuk melakukan pengamatan pada rentang High Frekuensi (HF). Bentuk data yang dapat diperoleh adalah variabilitas intensitas sinyal yang dipancarkan oleh sebuah objek astronomi. Namun, karena antena dipol tidak memiliki directivity pada arah tertentu, teleskop radio elemen tunggal yang menggunakan antena jenis ini tidak dapat digunakan untuk melakukan pencitraan.^[5]

2. Gain

Gain (directive gain) adalah karakter antena yang terkait dengan kemampuan antena mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu. Gain bukanlah kuantitas yang dapat diukur dalam satuan fisis pada umumnya seperti watt, ohm, atau lainnya, melainkan suatu bentuk perbandingan. Oleh karena itu, satuan yang digunakan untuk gain adalah desibel.^[5]

3. VSWR

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) VSWR adalah rasio perbandingan antara gelombang datang dan **gelombang pantul** dimana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri. Gelombang berdiri (Standing Wave) merupakan gabungan antara refleksi dan interferensi yaitu gelombang pantul menginterferensi gelombang datang sehingga fasa gelombang datang terganggu oleh gelombang pantul yang mengakibatkan gelombang datang mengalami kerusakan. Semakin tinggi nilai VSWR berarti performansi dari antena tersebut semakin tidak baik atau gelombang yang terinterferensi semakin besar.^[6]

2.2 Jenia-Jenis Antena

Antena memiliki banyak bentuk dan fungsinya masing-masing, berikut beberapa jenis antena yaitu :

1. Antena Grid
2. Antena Omni
3. Antena Sectoral
4. Antena Yagi
5. Antena PVC
6. Antena 8 Quad
7. Antena Wajan Bolic
8. Antena Mikrostrip^[1]

2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950, dan perkembangannya dilakukan secara serius pada tahun 1970. Melalui beberapa dekade penelitian, diketahui bahwa kemampuan beroperasi antena mikrostrip diatur oleh bentuknya. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena yang paling populer saat ini. Hal ini disebabkan karena antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi yang sekarang ini memperhatikan bentuk dan ukuran.^[7]

2.3.1 Karakteristik Dasar

Berdasarkan asal katanya mikrostrip terdiri dari dua kata, yaitu *micro* (sangat kecil/tipis) dan *strip* (bilah/potongan). Antena mikrostrip secara umum terbagi menjadi tiga bagian yaitu:

a. *Patch*

Pada umumnya *patch* terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga atau emas yang mempunyai bentuk bermacam-macam. Bentuk *patch* ini bisa bermacam-macam, lingkaran, persegi, persegi panjang, segitiga, ataupun *annular ring*. *Patch* ini

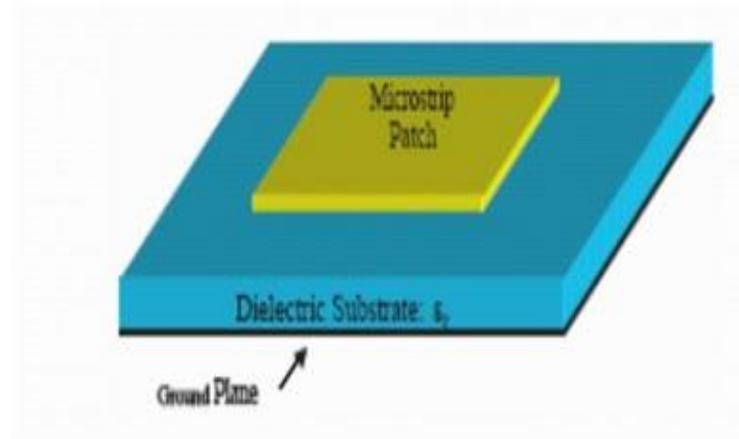
berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* dan saluran pencatu biasanya terletak diatas substrat. Tebal *patch* dibuat sangat tipis ($t \ll \lambda_0$; t = ketebalan *patch*).^[7]

b. *Substrate dielectric*

Substrat terbuat dari bahan-bahan dielektrik. Substrat biasanya mempunyai tinggi (h) antara $0,002\lambda_0 - 0,005\lambda_0$. Berfungsi sebagai media penyalur GEM dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antenna. Pengaruh ketebalan substrat dielektrik terhadap parameter antenna adalah pada *bandwidth*. Penambahan ketebalan substrat akan memperbesar *bandwidth*.^[7]

c. *Ground Plane*

Ground plane bisa terbuat dari bahan konduktor. Ukurannya selebar dan sepanjang substrat. Fungsi *ground plane* adalah sebagai *ground antenna*.^[7]



Gambar 2.3 Bentuk umum antenna *microstrip*^[8]

2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan

Beberapa keuntungan antenna mikrostrip adalah sebagai berikut :

- a. Mempunyai bobot yang ringan dan ukuran yang kecil
- b. Konfigurasi yang *low profile* sehingga bentuknya dapat disesuaikan dengan perangkat utamanya

- c. Biaya pabrikasi yang murah sehingga dapat dibuat dalam jumlah yang besar
- d. Mendukung polaritas linear dan sirkular
- e. Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs)
- f. Tidak memerlukan catuan tambahan^[9]

Namun, antena mikrostrip juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu :

- a. *Bandwidth* yang sempit
- b. Efisiensi yang rendah
- c. Penguatan yang rendah
- d. Memiliki rugi-rugi hambatan (*ohmic loss*) pada pencatuan antena array
- e. Memiliki daya (*power*) yang rendah
- f. Timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)^[9]

2.3.3 Aplikasi Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip terkenal dengan kinerjanya dan desainnya yang kuat, cara pembuatannya, dan kegunaannya luas. Keuntungan dari antena mikrostrip yaitu mudah untuk dirancang, ringan dan sebagainya. Antena mikrostrip digunakan diberbagai bidang seperti kesehatan, satelit, dan juga militer. Berikut adalah beberapa aplikasi dari antena mikrostrip :

- a. *Mobile and satellite communication application*
- b. Aplikasi GPS
- c. RFID
- d. WiMax
- e. WLAN
- f. Bandpass Filter
- g. Radar
- h. Aplikasi Telemedicine^[9]

2.3.4 Parameter Umum

Seperti bentuk antena-antena yang lain, antena mikrostrip mempunyai parameter-parameter yang digunakan untuk dilihat *performance* yaitu :^[9]

2.3.4.1 Penguatan (*Gain*)

Penguatan (G) pada antena mikrostrip merupakan perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang diterima jika daya yang diterima berasal dari antena isotropik . Gain dirumuskan :

Perhitungan gain hasil pengujian antenna dapat dilakukan dengan menggunakan rumus :^[9]

$$G_A = G_r + (P_A - P_{TA}) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

G_A = Gain antena

G_r = Gain antena Standar (2,15 dB)

P_A = Daya hasil pengujian tanpa antena

P_{TA} = Daya hasil pengujian dengan antenna

2.3.4.2 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V_{max}|$) dengan minimum ($|V_{min}|$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut koefisien refleksi tegangan (Γ).

$$r = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.

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

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

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah :

$$S = \frac{|V|_{min}}{|V|_{max}} = \frac{1+|r|}{1-|r|} \dots\dots\dots(2-3)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran berada dalam keadaan *matching* sempurna. Namun pada kenyataannya nilai tersebut sulit didapatkan sehingga nilai dasar VSWR yang digunakan pada antena umumnya ≤ 2 .

2.3.4.3 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara gelombang amplitudo yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*missmatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi.

$$r = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$return\ loss = 20 \log_{10} |r|$$

Nilai *return loss* yang biasa digunakan adalah di bawah -9,54 dB, untuk menentukan lebar *bandwidth*, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini

digunakan sebagai salah satu acuan apakah antenna sudah bekerja pada frekuensi yang sesuai atau tidak.

2.3.4.4 Impedansi Masukan

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) impedansi pada bagian terminal antenna atau perbandingan antara tegangan dan arus listrik pada terminal antenna. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu. Impedansi masukan, Z_{in} terdiri dari dua bagian real (R_{in}) dan bagian imajiner (X_{in}).

$$Z_{in} = R_{in} + X_{in} \Omega \dots\dots\dots (2-5)$$

Resistansi masukan (R_{in}) mewakili disipasi yang terjadi karena dua hal. Pertama karena daya yang meninggalkan antenna dan tidak kembali lagi (radiasi), yang kedua karena rugi-rugi ohmic yang terkait dengan panas pada struktur antenna. Namun pada banyak antenna, rugi-rugi ohmic sangat kecil bila dibandingkan dengan rugi-rugi akibat radiasi.

Komponen imajiner (X_{in}) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Kondisi matching harus sedemikian rupa sehingga mendekati $50 + j0 \Omega$.

2.3.4.5 Bandwidth Antena

Bandwidth antenna adalah rentang frekuensi dimana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar. Dalam menentukan *bandwidth* antenna perlu memspesifikasikan kriteria apa saja yang digunakan karena tidak ada definisi baku dalam menentukan *bandwidth*.

Bandwidth antenna biasanya ditulis dalam bentuk persentase *bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi dan dirumuskan :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana, f_h : frekuensi tertinggi dalam band (Ghz)

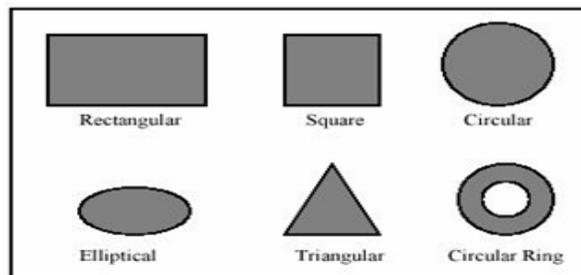
f_l : frekuensi terendah dalam band (Ghz)

f_c : frekuensi tengah dalam band (Ghz)

2.3.5 Jenis-Jenis Antena Mikrostrip

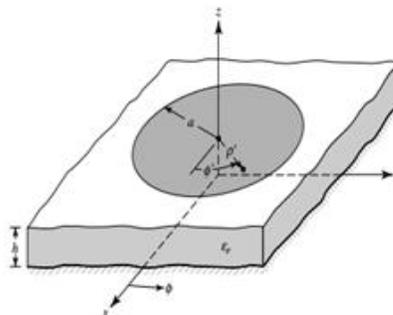
Berdasarkan bentuk *patch*-nya antena mikrostrip terbagi menjadi :

- Antena mikrostrip *patch* persegi panjang (*rectangular*)
- Antena mikrostrip *patch* persegi (*square*)
- Antena mikrostrip *patch* lingkaran (*circular*)
- Antena mikrostrip *patch* elips (*elliptical*)
- Antena mikrostrip *patch* segitiga (*triangular*)
- Antena mikrostrip *patch* *circular ring*



Gambar 2.4 Bentuk *patch* antenna^[10]

2.3.6 Circular Patch



Gambar 2.5 Gambar antena mikrostrip *patch* lingkaran^[9]

Mode-mode yang dapat mendukung antena *patch* lingkaran dapat dihitung dengan

- a. Jari-jari patch lingkaran dengan persamaan :

$$F = \frac{8,791 \times 10^0}{f \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2 \times 1,6}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \frac{\pi F}{2h} + 1,722 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana:

F = Fungsi logaritmik elemen peradiasi

a = Jari-jari patch circular (mm)

ϵ_r = Permivitas dielektrik Substrat (F/m)

h = Ketebalan Substrat

f_r = Frekuensi resonansi (MHz)

- b. Persamaan untuk menentukan Line feed yaitu :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dimana :

B = Dimensi saluran transmisi

W = Lebar saluran transmisi (feedline)

- c. Untuk menentukan panjang saluran pencatu dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L = \frac{1}{4} \lambda_d \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \dots\dots\dots (2-13)$$

Dimana :

L = Panjang saluran transmisi

λ_d = Panjang gelombang saluran transmisi

λ_0 = Dimensi elemen peradiasi

c = perambatan diruang bebas (3×10^8 m/s)

d. *Groundplane*

Untuk mendapatkan nilai lebar dan panjang *groundplane* menggunakan pendekatan persamaan berikut;

$$L_g = L + 2a + 3h \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana :

L_g = Panjang *Groundplane*

h = Tebal Substrat (1,6)

L = Panjang Patch

$$W_g = 2a + 6h \dots\dots\dots (2-15)$$

Dimana :

W_g = Lebar *Groundplane*

a = jari-jari Patch

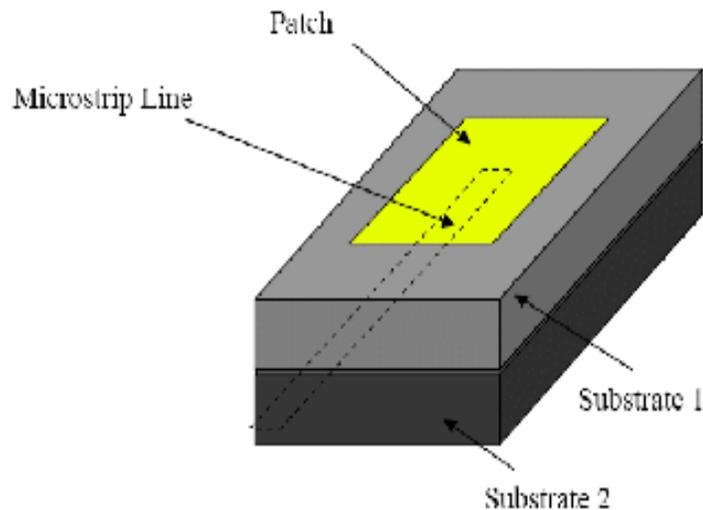
2.3.7 Teknik Pencatuan

Teknik pencatuan pada antenna mikrostrip adalah teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antenna mikrostrip dan teknik pencatuan merupakan salah satu hal penting dalam menentukan proses perancangan antenna

mikrostrip. Masing-Masing teknik mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing.^[9]

a. *Electromagnetically Coupled (EMC)*

Salah satu kelemahan antenna mikrostrip adalah *bandwidth* yang sempit. Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan ini, antara lain dengan menggunakan substrat yang tebal, dengan menambahkan parasitic agar mendapat tanggapan resonansi ganda. Kemudian dengan menggunakan saluran mikrostrip yang dikopel secara *proximity* pada *patch* yang terletak pada lapisan di atas saluran. Dengan posisi saluran catu di atas *patch*, maka saluran tersebut dapat dibawa ke bagian bawah antenna, sehingga ada dua substrat yang digunakan pada teknik ini yang berada diatas bidang petanahan, dengan menghilangkan bidang pentanahan pada substrat yang berada di atas. Geometri antenna mikrostrip menggunakan saluran mikrostrip yang dikopel secara *proximity*.



Gambar 2.6 *Electromagnetically coupled*^[10]

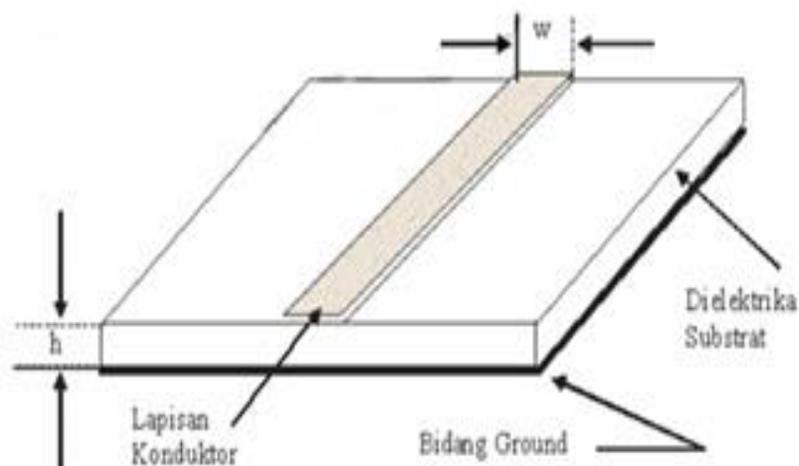
Dua substrat dielektrik akan digunakan jika teknik pencatuan ini diterapkan. Saluran pencatu terletak diantara dua substrat tersebut dan elemen peradiasi terelatak pada substrat bagian atas.Keuntungan utama dari teknik pencatuan ini adalah dapat mengeliminasi radiasi pada elemen pencatu (*spurious feed radiation*) dan mampu

menghasilkan bandwidth yang tinggi (13%), karena meningkatkan ketebalan pada *patch* antena. Pada teknik ini dapat digunakan dua substrat dielektrik yang berbeda (ketebalan dan konstanta dielektrik substrat), satu untuk elemen peradiasi dan satu substrat lainnya untuk saluran pencatu.

Substrat bagian atas (*upper substrate*) yaitu substrat dimana antena membutuhkan substrat yang relatif lebih tebal dengan nilai konstanta dielektrik yang relatif kecil. Hal tersebut meningkatkan bandwidth dan performa radiasi dari antena. Substrat bagian bawah yaitu substrat dengan saluran pencatu membutuhkan substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang relatif lebih tinggi dari substrat pada bagian atas.

b. *Microstrip Feeding*

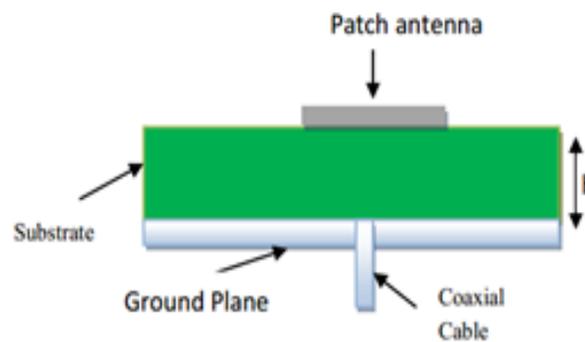
Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar w dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki permitivitas relatif ϵ_r dengan tinggi h . Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h).



Gambar 2.7 Saluran Mikrostrip^[11]

c. *Coaxial Feeding*

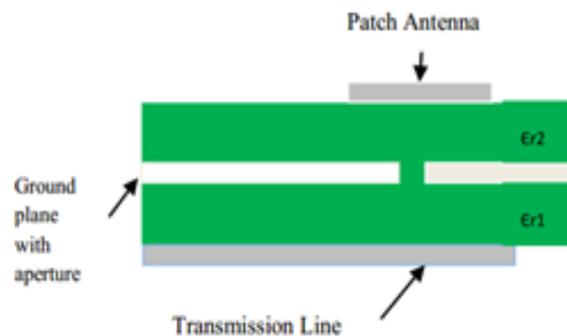
Coaxial feeding merupakan salah satu teknik pencatuan yang mana konduktor dalam coaxialnya disematkan pada elemen peradiasi yang konduktor luarnya terhubung dengan ground plane. Keuntungan menggunakan coaxial feeding adalah pembuatan yang mudah, mudah dimatchingkan, dan kerugiannya bandwidthnya sempit serta sulit dimodelkan ketikasubstractnya sempit.



Gambar 2.8 *Coaxial Feeding*^[11]

d. *Aperture Feeding*

Dalam teknik ini, Saluran transmisi dipisahkan dari antena menggunakan sebuah plat konduktor yang mempunyai aperture untuk melewatkan energi ke antena. Substrate yang diatas dapat dibuat dengan permitivitas yang lebih rendah dari yang dibawah untuk menghasilkan radiasi yang lebih baik. Kerugiannya adalah sulit untuk disusun/dibuat.



Gambar 2.9 *Aperture Feeding*^[11]

2.4 GSM (Global System for Mobile Communication)

GSM (Global System for Mobile Communication), yang awalnya merupakan kependekan dari Groupe Special Mobile, adalah suatu teknologi komunikasi selular yang menggunakan teknik digital. Teknologi GSM banyak diterapkan pada komunikasi bergerak khususnya handphone. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu, sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai pada tujuan (Ariyus dan Andri K.R., 2008: 390).^[12]

2.4.1 Sejarah dan Perkembangan GSM

Teknologi komunikasi selular sebenarnya sudah berkembang dan banyak digunakan pada awal tahun 1980-an, diantaranya sistem C-NET yang dikembangkan di Jerman dan Portugal oleh Siemens, sistem RC-2000 yang dikembangkan di Perancis, sistem NMT yang dikembangkan di Belanda dan Skandinavia oleh Ericsson, serta sistem TACS yang beroperasi di Inggris. Namun teknologinya yang masih analog buat sistem yang digunakan bersifat regional sehingga sistem antara negara satu dengan yang lain tidak saling kompatibel dan menyebabkan mobilitas pengguna terbatas pada suatu area sistem teknologi tertentu saja (tidak bisa melakukan roaming antar negara).

Teknologi analog yang berkembang, semakin tidak sesuai dengan perkembangan masyarakat Eropa yang semakin dinamis, maka untuk mengatasi keterbatasannya, negara-negara Eropa membentuk sebuah organisasi pada tahun 1982 yang bertujuan untuk menentukan standar-standar komunikasi selular yang dapat digunakan di semua negara Eropa. Organisasi ini dinamakan GSM (Group Special Mobile). Organisasi ini memelopori munculnya teknologi digital selular yang kemudian dikenal dengan nama GSM (*Global System for Mobil Communication*).

GSM muncul pada pertengahan 1991 dan akhirnya dijadikan standar telekomunikasi selular untuk seluruh Eropa oleh ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*). Pengoperasian GSM secara komersil baru dapat dimulai pada

awal kuartal terakhir 1992 karena GSM merupakan teknologi yang kompleks dan butuh pengkajian yang mendalam untuk bisa dijadikan standar. Pada September 1992, standar type approval untuk handphone disepakati dengan mempertimbangkan dan memasukkan puluhan item pengujian dalam memproduksi GSM. Pada awal pengoperasiannya, GSM telah mengantisipasi perkembangan jumlah penggunaannya yang sangat pesat dan arah pelayanan per area yang tinggi, sehingga arah perkembangan teknologi GSM adalah *DCS (Digital Cellular System)* pada alokasi frekuensi 1800 Mhz. Dengan frekuensi tersebut, akan dicapai kapasitas pelanggan yang semakin besar per satuan sel. Selain itu, dengan luas sel yang semakin kecil akan dapat menurunkan kekuatan daya pancar handphone, sehingga bahaya radiasi yang timbul terhadap organ kepala akan dapat di kurangi. Pemakaian GSM kemudian meluas ke Asia & Amerika, termasuk Indonesia. Indonesia awalnya menggunakan sistem telepon selular analog yang bernama *AMPS (Advances Mobile Phone System)* dan *NMT (Nordic Mobile Telephone)*. Namun dengan hadir dan dijadikannya standarsistem komunikasi selular membuat sistem analog perlahan menghilang, tidak hanya di Indonesia, tapi juga di Eropa. Pengguna GSM pun semakin lama semakin bertambah. Pada akhir tahun 2005, pelanggan GSM di dunia telah mencapai 1,5 triliun pelanggan. Akhirnya GSM tumbuh dan berkembang sebagai sistem telekomunikasi seluler yang paling banyak digunakan di seluruh dunia.^[12]

2.4.2 Frekuensi Jaringan GSM di Indonesia

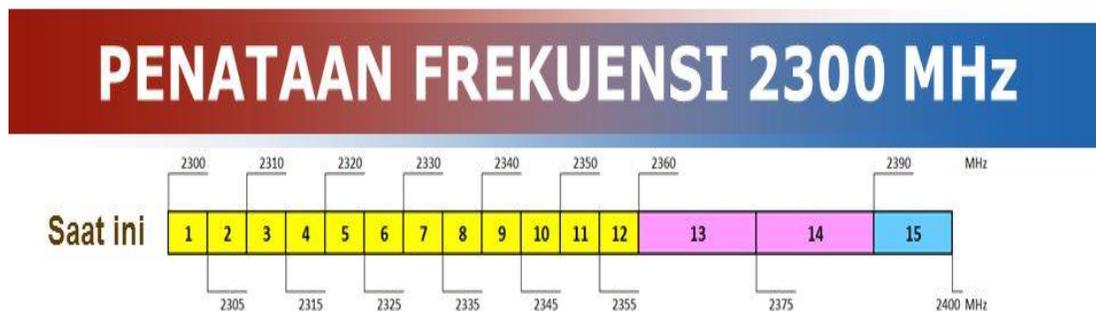
Kebanyakan operator seluler di Indonesia sekarang ini menggunakan band frekuensi 4G-LTE dari B5 (Band5) FDD LTE 850 MHz, B8 FDD LTE 900MHz, B3 FDD LTE 1.800MHz, dan B40 TDD LTE 2.300 MHz. Jika perangkat 4G LTE yang anda gunakan tidak mendukung band frekuensi tersebut maka bisa dipastikan tidak dapat menerima sinyal 4G LTE pada perangkat.

Berikut ini daftar band frekuensi LTE di Indonesia:

1. **Telkomsel:** B8 FDD LTE frekuensi 900 MHz / B3 FDD LTE frekuensi 1800MHz / B40 TDD LTE frekuensi 2.300 MHz)

2. **Indosat Ooredoo:** B8 FDD LTE frekuensi 900 MHz / B3 FDD LTE frekuensi 1800 MHz
3. **XL Axiata:** B8 FDD LTE frekuensi 900 MHz / B3 FDD LTE frekuensi 1800 MHz
4. **Tri Indonesia:** B3 FDD LTE frekuensi 1800 MHz)
5. **Smartfren:** B5 FDD LTE frekuensi 850 Mhz/B40 TDD LTE frekuensi 2300 MHz
6. **Bolt:** B40 TDD LTE frekuensi 2300 MHz

Satu lagi frekuensi yang akan digunakan oleh jalur 4G-LTE adalah 2100 MHz dan 2300 MHz untuk lebih memaksimalkan penggunaan dan perluasan cakupan 4G di tanah air.^[14]



Gambar 2.10 Penataan Frekuensi di Indonesia^[13]

Adapun komposisi alokasi frekuensi yang dimiliki Telkomsel :

1. frekuensi 2,3 GHz dengan lebar pita 30 MHz
2. frekuensi 2,1 GHz dengan lebar pita 15 MHz
3. frekuensi 1,8 GHz dengan lebar pita 22,5 MHz
4. frekuensi 900 MHz dengan lebar pita 7,5 MHz
5. frekuensi 800 MHz dengan lebar pita 7,5 MHz.

XL sekarang menguasai frekuensi 45 MHz terdiri dari : frekuensi 900 MHz (7,5 MHz), frekuensi 1.800 MHz (22,5 MHz), frekuensi 2,1 GHz (15 Mhz). Indosat

Ooredoo, menguasai 2,5 MHz (850 MHz), 10 MHz (900 MHz), 20 MHz (1.800), dan 20 Mhz di 2,1 GHz. Tri menguasai 10 MHz di 1.800 MHz dan 15 MHz di 2,1 GHz. Sedangkan Smartfren 30 MHz di 2,3 GHz dan 10 MHz di 850 Mhz. Sampoerna Telekomunikasi Indonesia menguasai 7,5 Mhz di 450 MHz.^[14]

2.4.3 Arsitektur Jaringan GSM

Secara umum, *network element* dalam arsitektur jaringan GSM dapat dibagi menjadi:

**Mobile Station (MS)*

**Base Station Subsystem (BSS)*

**Network Sub-system (NSS)*

**Operation and Support System (OSS)*

Secara bersama-sama, keseluruhan *network element* di atas akan membentuk sebuah PLMN (*Public Land Mobile Network*).^[12]

2.4.4 Keunggulan GSM

GSM, sebagai sistem telekomunikasi selular digital memiliki keunggulan yang jauh lebih banyak dibanding sistem analog, di antaranya:

1. Kapasitas sistem lebih besar, karena menggunakan teknologi digital di mana penggunaan sebuah kanal tidak hanya diperuntukkan bagi satu pengguna saja sehingga saat pengguna tidak mengirimkan informasi, kanal dapat digunakan oleh pengguna lain.
2. Sifatnya yang sebagai standar internasional memungkinkan roaming mancanegara
3. Dengan teknologi digital, tidak hanya mengantarkan suara, tapi memungkinkan servis lain seperti teks, gambar, dan video.
4. Keamanan sistem yang lebih baik
5. Kualitas suara lebih jernih dan peka.
6. Mobile (*dapat dibawa ke mana-mana*)^[15]

2.4.5 Kekurangan GSM

GSM juga memiliki kekurangan yaitu

1. Sistem informasi yang dilakukan mudah diakses/ bocor
2. Sistem keamanan yang kurang baik sehingga mudah disadap
3. Biaya yang diperlukan relatif lebih mahal
4. ketika jaringan GSM sudah penuh, maka pemilik ponsel biasanya akan mengalami kesulitan untuk melakukan panggilan atau bahkan menerima panggilan. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya timeslot kosong yang bisa digunakan.^[15]

2.5 CST Studio Suite 2016

CST *Studio Suite* 2016 adalah software simulasi user-friendly dan memungkinkan untuk memudahkan penggunaanya dalam mendesain berbagai macam perangkat dengan mudah yang beroperasi dalam berbagai frekuensi. CST *Studio Suite* 2016 menawarkan solusi komputasi yang akurat dan efisien untuk desain dan analisis perangkat elektromagnetik.^[16]