

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antena

2.1.1 Konsep Dasar Antena

Antena adalah suatu alat yang mengubah gelombang terbimbing dari saluran transmisi menjadi gelombang bebas di udara dan sebaliknya. Pada sistem komunikasi radio diperlukan adanya antena sebagai pelepas energi elektromagnetik ke udara atau ruang bebas, atau sebaliknya sebagai penerima energi itu dari ruang bebas. Dapat juga dikatakan antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas dengan alat pembimbing. Alat pembimbing atau saluran transmisi dapat berupa saluran koaxial ataupun pipa dan digunakan sebagai alat transportasi energi elektromagnetik dari sumber transmisi ke antena atau dari antena ke penerima. Dalam fungsinya sebagai pemancar dan penerima energi, sebuah antena pada sistem *wireless* harus dapat melakukan optimasi energi radiasi pada beberapa arah. Antena juga harus dapat berperan sebagai alat direksional. Antena dapat berbentuk kabel yang berkonduksi, sebuah *aperture*, berupa *patch*, gabungan dari beberapa elemen (*array*), sebuah *reflector* dan lensa.

Pada konsep dasar antena, terdapat beberapa parameter dasar dari antena yang perlu diperhatikan. Parameter dalam antena yang penting untuk suatu aplikasi, yaitu:

1. *Return Loss*

Return loss adalah koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching*[3]. *Return loss* terjadi diakibatkan karena ketidakcocokan antara saluran transmisi dengan impedansi antena. Persamaan (1) menunjukkan perhitungan untuk *return loss*.

$$\text{Return loss (dB)} = 20 \log |\Gamma| \quad (1)$$

dimana,

$$|\Gamma| = \text{refleksi koefisien}$$

2. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR merupakan perbandingan dari besarnya gelombang pantul dengan gelombang yang akan dipancarkan. Perhitungan VSWR seperti pada Persamaan (2)[3].

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2)$$

dimana,

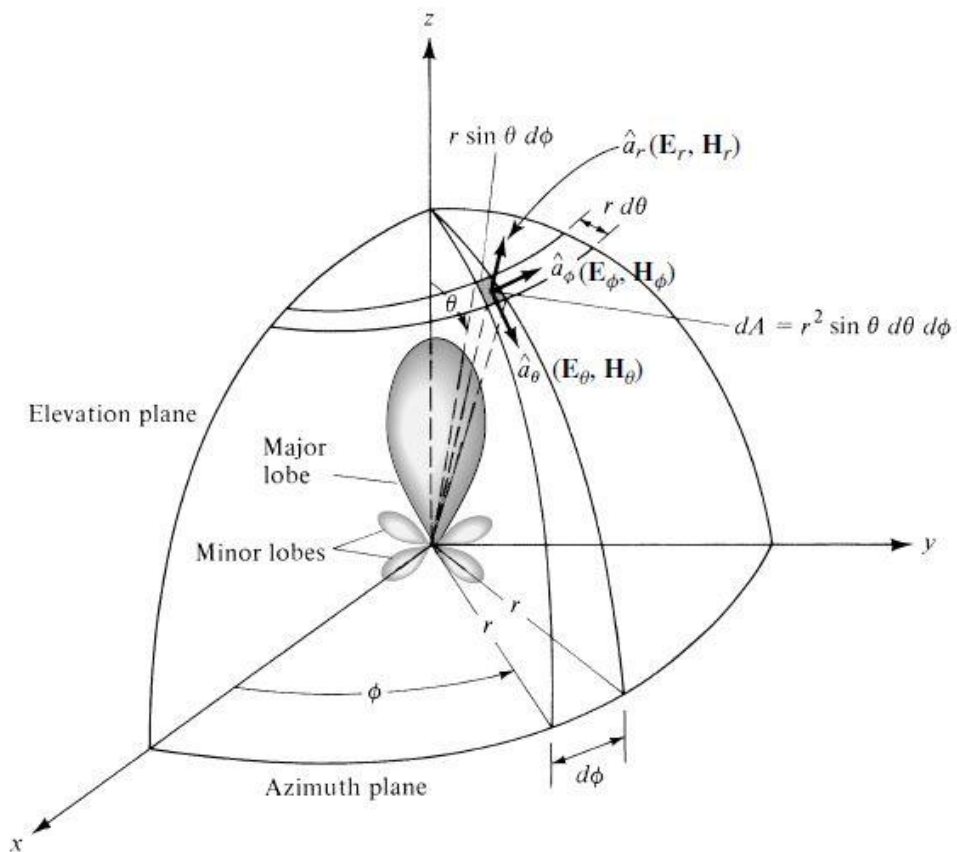
$$|\Gamma| = \text{refleksi koefisien}$$

VSWR selalu merupakan bilangan riil dan positif untuk antenna. Semakin kecil VSWR ini, semakin baik antenna tersebut. VSWR minimum adalah 1, berarti tidak ada daya yang dipantulkan kembali dari antenna dan hal ini sangat ideal untuk antenna.

3. Pola Radiasi

Pola radiasi antenna dapat didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat-sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang [3]. Pola radiasi sebuah antenna didefinisikan sebagai gambaran grafis dari sifat-sifat pancaran antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang. Dalam beberapa kasus, pola radiasi ditentukan pada *farfield region* dan di representasikan sebagai fungsi arah koordinat. Parameter radiasi termasuk *power flux density*, *radiation intensity*, *field strength*, *directivity*, dan *phase/polarization*. Pola Radiasi biasanya digambarkan dalam model 2 dimensi dan 3 dimensi yang menunjukkan radius cakupan radiasi dan arah radiasi serta menentukan arah mana yang menerima radiasi paling maksimal dan arah mana yang kurang maksimal. Adapun pola radiasi antenna dibedakan menjadi 3, yaitu:

- Isotropis adalah arah pancaran antenna ke berbagai arah dengan energi sama besar pada seluruh bidang.
- Direksional adalah arah pancaran antenna ke satu arah.
- Omnidireksional adalah arah pancaran antenna ke berbagai arah dengan energi pada satu bidang sama besar.

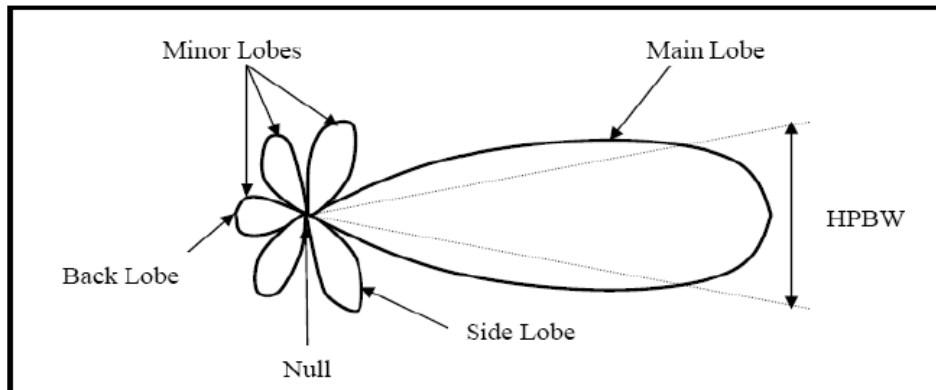


Gambar 2.1 Skala 3 dimensi x,y,z [6]

Ada beberapa bagian yang merupakan bagian penting dari pola radiasi antenna seperti ditunjukkan pada Gambar 2, yaitu:

- *Half Power Beamwidth (HPBW)* adalah daerah sudut yang dibatasi oleh titik-titik $\frac{1}{2}$ daya atau -3 dB atau 0,707 dari medan maksimum pada lobe utama.
- *Main Lobe* adalah bagian dari daerah radiasi yang arah radiasi antenna maksimum.
- *Minor lobe* adalah bagian ini menyatakan daerah radiasi yang tidak diinginkan. Level dari *minor lobe* ini menyatakan besarnya rasio densitas daya atau *side lobe level*.
- *Back lobe* adalah bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.
- *Side lobe* adalah bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*.

- *First Null Beamwidth (FNBW)* adalah besar sudut bidang diantara dua arah pada main lobe yang intensitas radiasinya nol.



Gambar 2.2 Pola Radiasi dari Antena[2]

4. *Gain*

Gain adalah intensitas radiasi maksimum antenna dibanding intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan diberi daya inputan yang sama. *Gain* bukanlah kuantitas yang dapat diukur dalam satuan watt, ohm, atau lainnya, melainkan suatu bentuk perbandingan. Oleh karena itu, satuan yang digunakan untuk *gain* adalah desibel (dB). Pengukuran *gain* yang termasuk parameter medan jauh antenna harus memperhatikan jarak medan jauh antenna yang ditentukan dengan Persamaan (3) dan (4)[4].

$$R > 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (3)$$

dimana:

R = jarak medan jauh

D = panjang diagonal antenna

λ = panjang gelombang

$$D = \sqrt{\text{lebar antenna}^2 + \text{panjang antenna}^2} \quad (4)$$

Adapun *Gain* antenna dapat diperoleh dengan Persamaan (5) [3].

$$G_{AUT(dBi)} = P_{AUT(dBm)} - P_{REF(dBm)} + G_{REF(dBi)} \quad (5)$$

dimana,

$G_{AUT(dBi)}$	= <i>gain</i> antena yang diukur
$P_{AUT(dBm)}$	= level daya terima antena yang diukur
$P_{REF(dBm)}$	= level daya terima antena referensi
$G_{REF(dBi)}$	= <i>gain</i> antena referensi

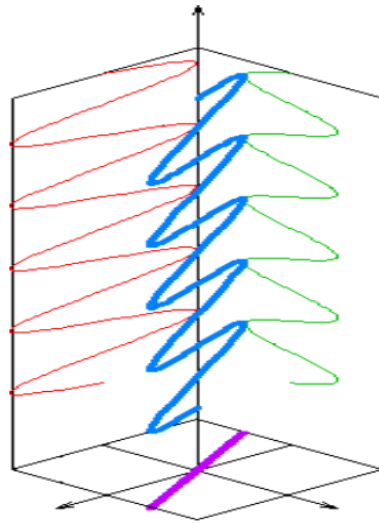
5. Polarisasi

Polarisasi adalah sifat dari gelombang elektromagnetik yang menggambarkan magnitudo relatif dari vektor medan listrik (E) sebagai fungsi waktu pada titik tertentu di suatu ruang. Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena itu. Ada beberapa jenis polarisasi yang dapat terjadi pada gelombang elektromagnetik. Suatu polarisasi disebut polarisasi vertikal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antena berarah vertikal terhadap permukaan bumi. Jika medan listriknya berarah horizontal terhadap permukaan bumi disebut polarisasi horizontal.

a. Polarisasi *Linier*

Polarisasi *linier* (Gambar 2.2) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vector medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi:

- Hanya ada satu komponen,
- atau 2 komponen yang saling tegak lurus secara *linier* yang berada pada perbedaan fasa waktu atau 180° atau kelipatannya.



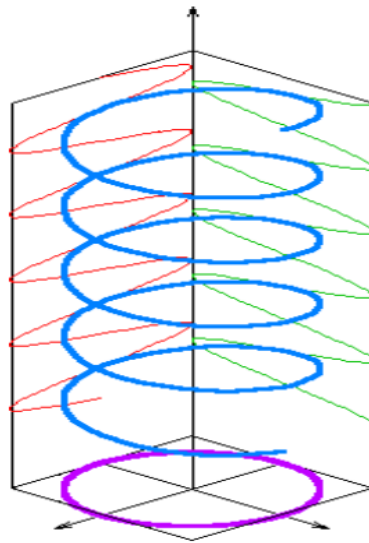
Gambar 2.3 Polarisasi *linier*[2]

b. Polarisasi Sirkular

Polarisasi sirkular terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah:

- Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*.
- Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama.
- Kedua komponen harus mempunyai perbedaan fasa sebesar perkalian ganjil dari 90° dalam waktu.

Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika $\delta = +\pi / 2$, sebaliknya *RHCP* terjadi ketika $\delta = -\pi / 2$.

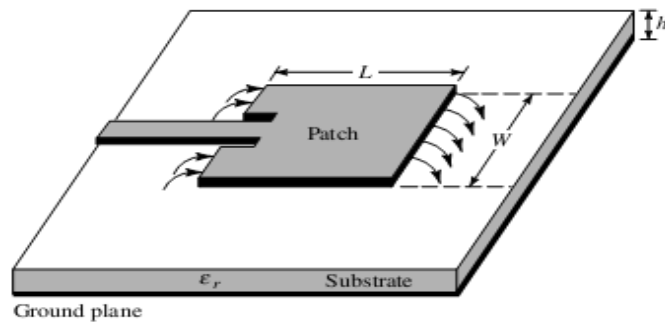


Gambar 2.4 Polarisasi Sirkular[2]

Polarisasi sirkular adalah jika nilai *axial ratio* atau perbandingan magnitudo mayor dengan magnitudo minor lebih kecil dari 3 dB[5]. Sebuah antenna dapat memancarkan energi dengan polarisasi yang tidak diinginkan, yang disebut dengan polarisasi silang (*cross polarized*). Polarisasi silang ini menimbulkan *side lobe* yang mengurangi *gain*. Untuk antenna polarisasi linier, polarisasi silang tegak lurus dengan polarisasi yang diinginkan dan untuk antenna polarisasi lingkaran, polarisasi silang berlawanan dengan arah perputarannya yang diinginkan.

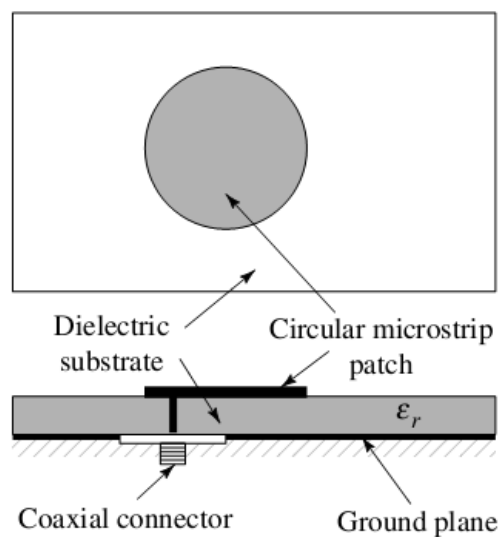
2.2 Metode Pencatuan

Pada umumnya ada empat jenis metode pencatuan yang populer digunakan, yaitu mikrostrip *feed line*, *coaxial probe*, *aperture-coupled*, dan *proximity-coupled*[6]. Metode pencatuan *feed line* ditunjukkan pada Gambar 2.4. Metode ini adalah metode pencatuan yang paling mudah untuk diimplementasikan.



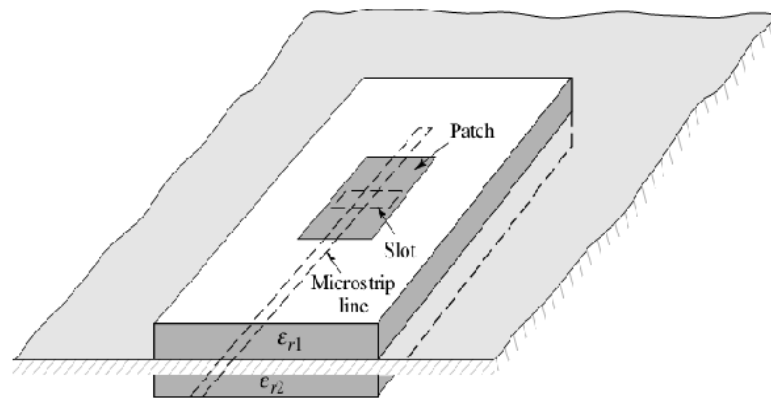
Gambar 2.5 Metode Pencatuan *Feed Line*[6]

Satu jenis yang biasa digunakan adalah metode *coaxial probe*, dimana *inner* dari kabel *coaxial* di sambungkan langsung ke *patch* dengan membuat lubang dari lapisan *ground* hingga menembus substrat, sedangkan *outer* dari kabel *coaxial* di sambungkan ke lapisan *ground* dari antenna. Metode *coaxial probe* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



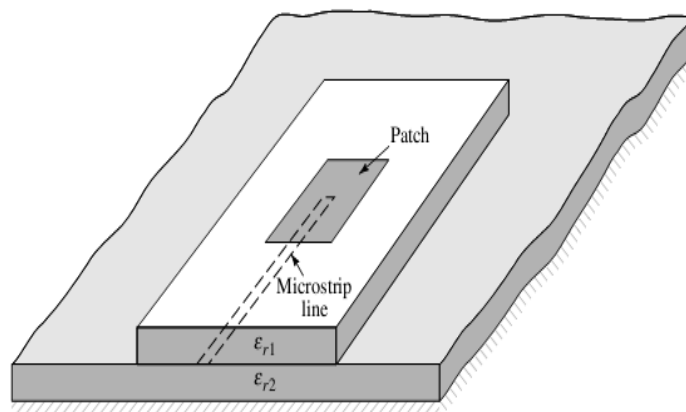
Gambar 2.6 Metode Pencatuan *Coaxial Probe*[6]

Metode lain adalah *aperture-coupled*, metode ini adalah metode yang paling sulit diimplementasikan. Selain itu dengan metode pencatuan ini memiliki lebar pita yang sempit, tapi memiliki koefisien radiasi yang tinggi. Metode ini menggunakan 2 substrat yang identik atau berbeda, dan dipisahkan oleh *ground*, sedangkan *feed line* terdapat pada bagian substrat yang berada pada posisi bawah. Lebih jelasnya *aperture-coupled* ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Metode pencatuan *aperture-coupled*[6]

Metode terakhir adalah *proximity-coupled*, terdiri dari 2 substrat yang disusun secara berlapis, namun tidak dipisahkan dengan *ground*, melainkan langsung dipisahkan oleh *feed line*. Gambar *proximity-coupled* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



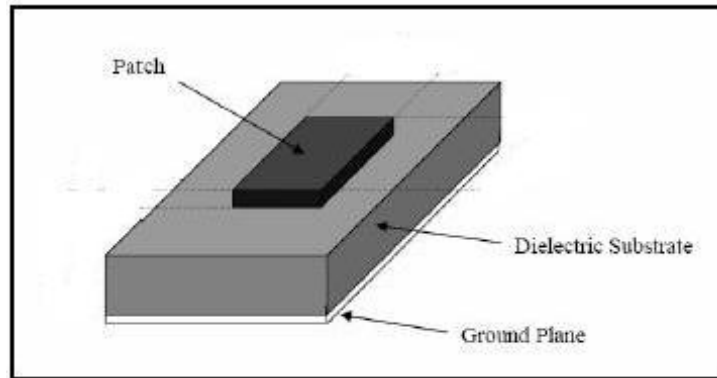
Gambar 2.8 Metode pencatuan *proximity-coupled*[6]

2.3 Antena Mikrostrip

Berdasarkan asal katanya, mikrostrip terdiri atas dua kata, yaitu *micro* (sangat tipis/kecil) dan *strip* (bilah/potongan). Antena mikrostrip adalah antena yang berbentuk papan tipis yang bekerja pada frekuensi tinggi. Antena mikrostrip terbuat dari substrat yang terdiri dari tiga lapisan seperti pada Gambar 2.8, yaitu:

- *Patch*: terbuat dari bahan konduktor yang berfungsi untuk meradiasikan gelombang.

- Dielektrik: bagian yang terletak diantara *groundplane* dan *patch*. Sangat mempengaruhi dalam pemancaran gelombang. Permittivitas (ϵ_r) dan ketebalannya (h) akan mempengaruhi lebar *bandwidth* dari antena.
- *Groundplane*: terbuat dari bahan konduktor yang berfungsi sebagai *ground* dari antena tersebut.



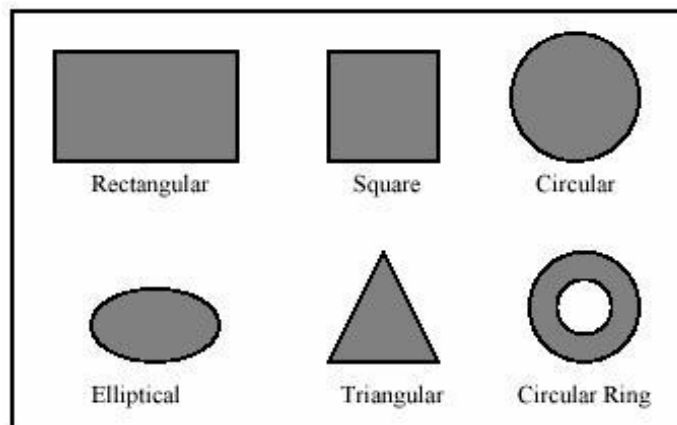
Gambar 2.9 Bagian dari Substrat[2]

1. 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*)

Pada umumnya bentuk *patch* terdapat beberapa macam, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.10 Bentuk *patch*[2]

2. Kelebihan dan Kelemahan Antena Mikrostrip

Bentuknya yang *low profile* membuat antena mikrostrip dapat diintegrasikan pada berbagai bidang permukaan, sederhana dan tidak mahal untuk diproduksi dengan menggunakan teknologi sirkuit modern, secara mekanik tangguh pada saat diintegrasikan pada permukaan yang kasar, dan sangat baik dalam frekuensi resonansi, polarisasi, bentuk dan impedansi. Jenis antena ini dapat diintegrasikan pada permukaan yang memerlukan performansi yang sangat tinggi seperti pada pesawat terbang, pesawat antariksa, satelit, misil, mobil bahkan pada telepon genggam.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, antena mikrostrip ini mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lainnya[3], yaitu diantaranya:

- a. *Low profile* (mempunyai ukuran yang kecil dan ringan).
- b. Sederhana dan tidak mahal dalam proses pembuatannya.
- c. Dapat dibuat untuk menghasilkan beberapa frekuensi resonansi.
- d. Polarisasi, dan pola radiasi dengan mengatur bentuk dan dimensi dari *patch* dan pencatunya dapat disesuaikan dalam bentuk permukaan yang planar atau nonplanar.

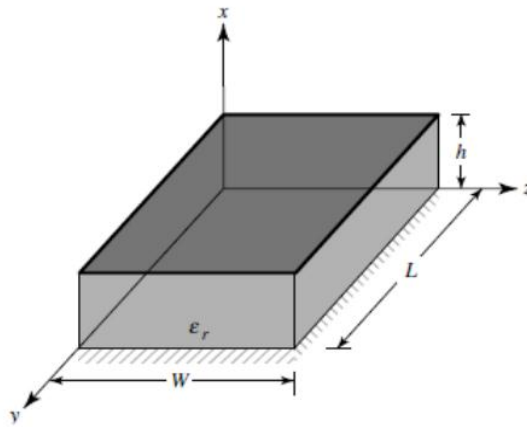
Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan[5], yaitu:

- a. Mempunyai efisiensi yang rendah.
- b. Mempunyai daya yang rendah.
- c. Memiliki bandwidth yang sempit.
- d. Memiliki gain yang rendah.

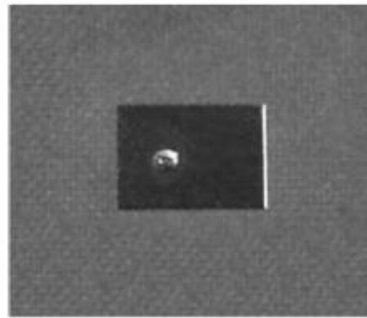
2.4 Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Antena mikrostrip dalam perancangan ini menggunakan patch yang berbentuk segiempat. Patch segiempat lebih banyak digunakan karena kemudahan dalam analisis dan proses fabrikasi. Gambar 11 memperlihatkan bentuk geometri dari patch mikrostrip segiempat dimana W dan L adalah lebar dan panjang dari patch, h adalah tebal substrat dan ϵ_r merupakan nilai konstanta dielektrik dari

substrat. Gambar 2.10 memperlihatkan bentuk nyata dari patch mikrostrip *rectangular patch*.



Gambar 2.11 Bentuk geometri antenna mikrostrip *Rectangular patch*[2]



Gambar 2.12 Bentuk nyata antenna mikrostrip *rectangular patch*[2]

2.5 Parameter Umum Antena Mikrostrip

1. Panjang Patch (L_p)

Untuk merancang antena mikrostrip *square patch* di frekuensi yang diinginkan, bisa diperoleh dengan mengatur panjang sisi *patch* (L_p) antena tersebut seperti pada Persamaan (6) dan (7)[3].

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \quad (6)$$

$$\Delta L = 0,412 h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) (\frac{W_p}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) (\frac{W_p}{h} + 0,8)} \quad (7)$$

Dimana ϵ_{reff} dapat dicari dari persamaan (8)[7]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_p} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (8)$$

dimana :

- h = ketebalan substrat (mm)
- ϵ_r = konstanta dielektrik substrat

$$Lp = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}} \times 2 \quad (9)$$

dimana, F adalah:

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{fr \sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

dengan:

h = ketebalan substrat

ϵ_r = konstanta dielektrik relatif

F = panjang gelombang pada substrat

fr = frekuensi resonansi atau frekuensi tengah

2. Lebar Saluran Pencatu (W)

Selain sisi *patch*, lebar saluran pencatu (W) juga dapat diperoleh dari Persamaan (8) dan (9)[7].

$$W = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad (11)$$

dimana, A adalah:

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (12)$$

dengan:

Z_0 = impedansi input

ϵ_r = konstanta dielektrik relative

3. Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi sebuah antena dapat diartikan sebagai frekuensi kerja antena di mana pada frekuensi tersebut seluruh daya dipancarkan secara

maksimal. Pada umumnya frekuensi resonansi menjadi acuan frekuensi kerja antena. Frekuensi resonansi secara matematis dapat dirumuskan dalam bentuk fungsi berikut:

$$f_r = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (13)$$

dimana,

f_r = frekuensi resonansi

v_0 = kecepatan cahaya di ruang bebas

L = panjang antena

ϵ_r = konstanta dielektrik

4. *Bandwidth*

Bandwidth suatu antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, polarisasi, beamwidth, polarisasi, gain, efisiensi, VSWR, *return loss* memenuhi spesifikasi standar. *Bandwidth* dapat dicari dengan rumus:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \quad (14)$$

dimana,

f_2 = frekuensi tertinggi

f_1 = frekuensi terendah

f_c = frekuensi tengah

Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya:

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB.
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *bandwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu.

Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.

- c. *Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (*linier* atau sirkular) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi sirkular adalah kurang dari 3 dB.

2.6 Teknik Array

Biasanya antenna elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan setiap elemen tersebut menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang kurang baik. Pada banyak aplikasi diperlukan antenna dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi. Contoh aplikasi yang membutuhkan karakteristik tersebut antara lain adalah WiMAX, radar, komunikasi satelit, dan lain-lain. Kebutuhan karakteristik ini dapat dengan menyusun antenna dengan beberapa konfigurasi. Antenna susunan ini sering disebut sebagai antenna *array*[9].

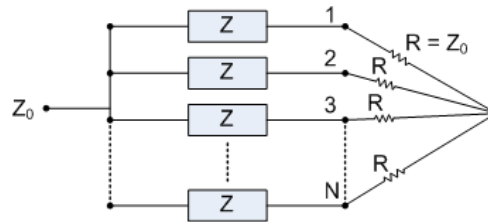
Antenna array adalah susunan dari beberapa antenna yang identik. Dalam antenna mikrostrip *patch*, yang disusun *array* adalah bagian *patch*. Medan total dari antenna *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.

Pada antenna *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima kontrol yang dapat digunakan untuk membentuk pola antenna, yaitu:

1. Konfigurasi geometri
2. Pemindahan relatif antenna elemen
3. Amplitudo eksitasi dari setiap elemen
4. Fasa eksitasi dari setiap elemen
5. Pola relatif dari setiap elemen

1. Power Divider

Salah satu teknik yang dapat mendukung *impedance matching* pada saluran transmisi khususnya untuk antenna mikrostrip *array* adalah *power divider*. Dalam hal ini metoda Wilkinson merupakan teknik yang umum digunakan. Gambar 2.12 memperlihatkan *power divider* metoda Wilkinson[10].

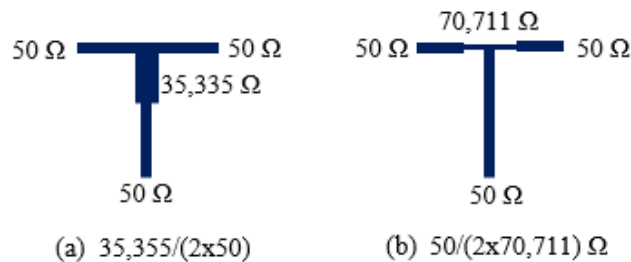


Gambar 2.13 N-Ways Wilkinson Combiner [2]

Pada metoda *Wilkinson*, nilai impedansi Z diberikan dengan persamaan berikut:

$$Z = Z_0 \sqrt{N} \quad (15)$$

Dimana N adalah jumlah titik percabangan dan Z_0 adalah impedansi masukan awal. *T-Junction* merupakan sebuah teknik *power divider* yang umum digunakan pada konfigurasi antenna *array*. Terdapat 2 jenis *T-Junction* 50Ω yang dapat digunakan sebagai *power divider* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13[11]:



Gambar 2.14 T-Junction 50Ω [2]

2. Teknik Planar Array

Gain dari antenna mikrostrip dapat diperbesar dengan menambahkan *patch* secara *array*, sehingga membentuk antenna mikrostrip *array*. Antenna mikrostrip *array* adalah pengembangan dari antenna mikrostrip yang merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi yang membentuk suatu jaringan. Ada beberapa

macam konfigurasi antena *array*, diantaranya *linear*, *planar*, dan *circular*. *Planar array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi. Contoh jenis *planar* yang digunakan adalah 1x1, 1x2, 2x2, dan 2x4. Adapun hasil yang diharapkan adalah diperolehnya karakteristik dari antena mikrostrip yang disusun secara *planar* berupa konfigurasi saluran pencatu, *gain*, dan pola radiasi.

3. Jarak Antar Elemen

Pada perancangan *array*, hal yang diperhatikan adalah jarak antar elemen *patch* antena. Jarak antar elemen pada antena mikrostrip *array* adalah[12]:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} \quad (16)$$

dimana,

d = jarak antar elemen *patch*

c = kecepatan cahaya

f = frekuensi kerja antena

2.7 FR4 (Epoxy Fiber Glass)

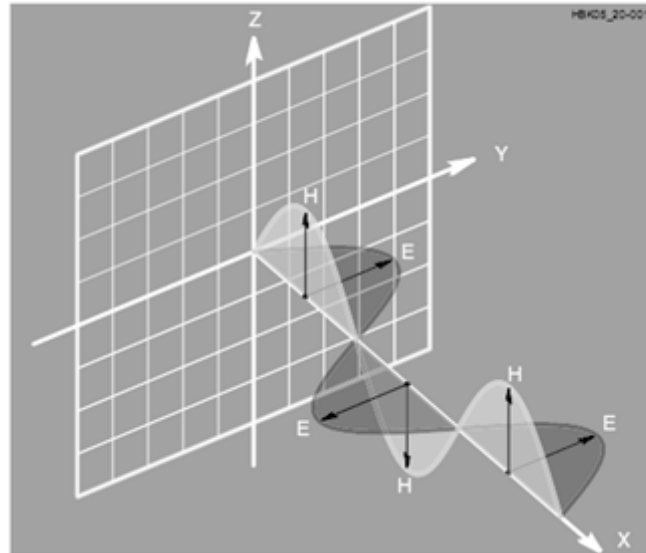
FR4 (Epoxy Fiber Glass) adalah salah satu jenis substrat pada PCB. *FR4 (Epoxy Fiber Glass)* ini mempunyai spesifikasi dan karakteristik tersendiri apabila dibandingkan dengan substrat-substrat lainnya pada PCB[8]. Dimana karakteristiknya antara lain[8] :

- *Dielectric constant* (ϵ_r) = 4,3
- *Loss tangent* ($\tan \delta$) = 0,02
- Ketebalan substrat (h_s) = 1,6 mm
- Ketebalan konduktor (h_t) = 0,035 mm
- *Water absorption* = < 0,25
- *Tensile strength* = < 310 MPa

2.8 Gelombang Radio dan Spektrum Elektromagnetik

Gelombang radio termasuk radiasi elektromagnetik meliputi infra merah (radiasi panas), cahaya tampak (*visible light*), ultraviolet, sinar-X, dan bahkan

panjang gelombang *Gamma* yang lebih pendek dan sinar kosmik. Gelombang elektromagnetik berasal dari interaksi antara medan listrik dan medan magnet seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.15 Medan listrik dan magnet pada gelombang elektromagnetik[2]

Nilai panjang gelombang (λ) berhubungan dengan frekuensi (f) dan kecepatan gelombang (v), dimana kecepatan gelombang bergantung pada media. Dalam kasus ini medianya adalah ruang bebas (*free space/vacuum*).

Tabel 2.1 Pembagian Band Frekuensi Gelombang Radio[3]

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band
30-300 Hz	10 – 1 Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1 Mm – 100 km	
3-30 kHz	100 – 10 km	VLF (very low frequency)
30-300 kHz	10 – 1 km	LF (low frequency)
300-3000 kHz	1 km – 100 m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100 – 10 m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10 – 1 m	VHF (very high frequency)
300-3000 MHz	1 m – 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10 – 1 cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1 cm – 1mm	EHF (extremely high frequency)

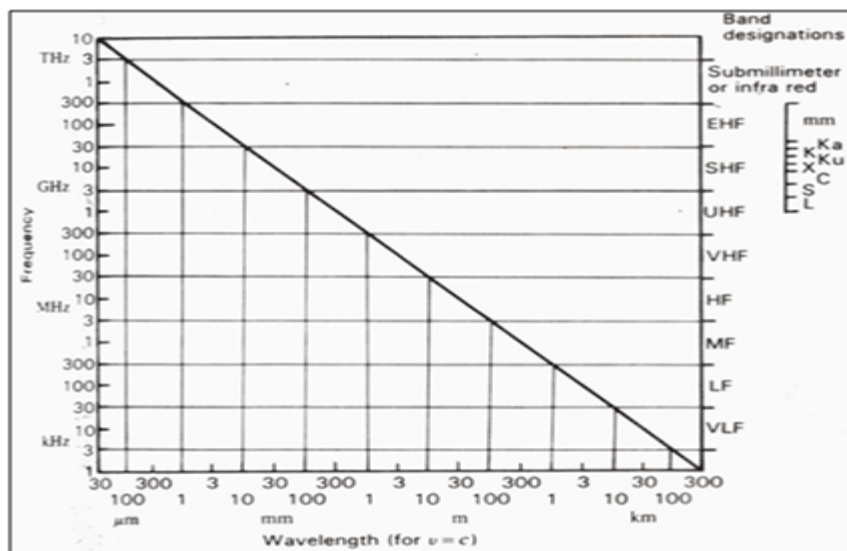
300-3000 GHz	1mm – 100 μm	
Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band menurut IEEE
1 – 2 GHz	30 – 15 cm	L
2 – 4 GHz	15 – 7.5 cm	S
4 – 8 GHz	7.5 – 3.75 cm	C
8 – 12 GHz	3.75 – 2.5 cm	X
12 – 18 GHz	2.5 – 1.67 cm	Ku
18 – 27 GHz	1.67 – 1.11 cm	K
27 – 40 GHz	1.11 – 0.75 cm	Ka
40 – 300 GHz	0.75 – 1.0 mm	Mm

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (17)$$

dimana,

$$v = c \text{ (ruang bebas) = kecepatan cahaya } (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})$$

Pada Gambar 2.15 ditunjukkan hubungan antara panjang gelombang (λ) dan frekuensi pada $v = c$. Banyak jenis frekuensi yang ada seperti Tabel 2.1 diatas. Berikut ini adalah daftar frekuensi yang lebih rinci dalam Tabel 2.1.

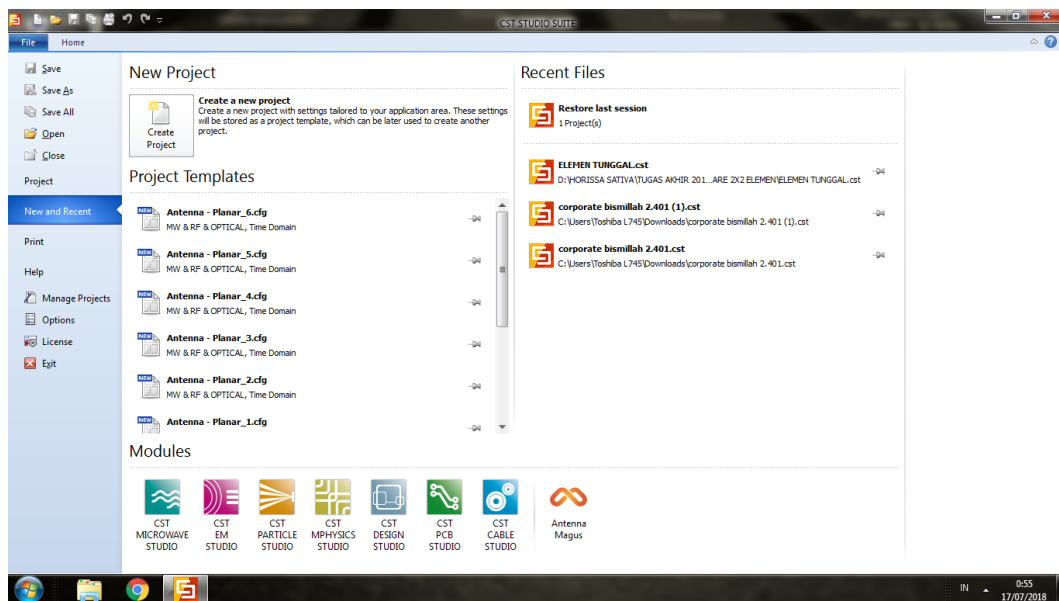


Sumber: John D, 1988:

Gambar 2.16 Panjang gelombang berbanding frekuensi untuk $v = c$ [14]

2.9 CST Microwave Studio Suite

Software CST Microwave Studio Suite adalah *software* perancangan dan simulasi antena. Dengan menggunakan *software* ini akan memudahkan dalam proses perancangan dan simulasi. Fitur yang disajikan pada perangkat lunak ini memudahkan dalam analisis elektromagnetik. *CST Microwave Studio Suite* memungkinkan analisis cepat dan akurat pada frekuensi tinggi, seperti antena, filter, skrup, struktur planar, multi-layer, dan perangkat yang lainnya. Perangkat lunak simulasi elektromagnetik *CST Microwave Studio Suite* adalah puncak dari bertahun-tahun penelitian dan pengembangan yang menjadi solusi komputasi paling akurat dan efisien untuk desain elektromagnetik, ini terdiri dari alat CST untuk desain dan optimasi perangkat yang beroperasi di berbagai frekuensi - statis hingga optik[13]. Analisis dapat mencakup efek termal dan mekanik, serta simulasi sirkuit. Manfaat dari lingkungan desain terpadu yang memberikan akses ke seluruh rentang teknologi *solver*.



Gambar 2.17 Tampilan Utama *Software CST Microwave Studio Suite*[13]

Perakitan sistem dan pemodelan memfasilitasi multi-fisika dan *co*-simulasi serta pengelolaan seluruh sistem elektromagnetik. Aplikasi ini dapat menawarkan produk yang cukup untuk keuntungan pasar seperti siklus pendek pengembangan,

prototyping virtual sebelum uji fisik, dan optimasi bukannya eksperimen. Karena pengukuran hasil fabrikasi dengan menggunakan *software* ini hampir mendekati dengan pengukuran aslinya, maka banyak orang yang menggunakan *software* ini. *Software* ini dapat mengestimasi nilai *return loss*, *VSWR*, *gain*, pola radiasi dan polarisasi.

2.10 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Sebelum ini sudah dilakukan beberapa penelitian mengenai antena mikrostrip *array* dengan menggunakan beberapa metode berbeda. Berikut adalah beberapa jurnal penelitian yang mendasari penulis untuk melakukan penelitian ini:

Tabel 2.2 Perbandingan Metode Penelitian Sebelumnya[1]

No.	Nama Penulis	Judul	Objek Penelitian	Tahun
1	Mandeep Singh, Juhi Rai, dan Anupma Mrwaha	Design of Triangular Patch Microstrip Antenna on a Substrate of Photonic Crystal Material	Merancang antena mikrostrip dengan <i>patch</i> segitiga pada substrat kristal fotonik	2014
2	Erfan Achmad Dahlan	Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2 pada Frekuensi 1575 MHz	Merancang antena mikrostrip dengan metode planar <i>array</i> 2x2	2009
3	Neronzie Julardi, dan Ali Hanafiah Rambe	Rancang bangun antena mikrostrip patch circular (2,45 GHz) dengan teknik planar array sebagai penguat sinyal wi-fi	Merancang antena mikrostrip dengan metode planar <i>array</i> 2x2 dengan <i>patch</i> lingkaran	2013
4	Maria Natalia Silalahi, dan Ali Hanafiah Rambe	Analisis Antena Mikrostrip Patch Segiempat dengan Teknik Planar Array	Merancang antena mikrostrip dengan <i>patch</i> segiempat dan metode planar <i>array</i>	2013
5	Yahya S. H. Khraisat	Design of 4 Elements Rectangular Microstrip Patch	Merancang dan meningkatkan <i>gain</i>	2012

		Antenna with High Gain for 2,4 GHz Application	secara signifikan dengan menggunakan metode array dengan 4 elemen	
6	Muhammad Agung Pratama	Rancang Bangun Antena Mikrostrip patch <i>Triangular</i> dengan Metode Array untuk <i>Wireless Fidelity</i> 2,4 GHz	Merancang antena dengan patch segitiga dan substrat <i>duroid</i> dengan metode linier <i>array</i>	2017
7	M. Aqwam	Rancang Bangun Antena Array Mikrostrip Square Patch Dengan Sudut Terpotong 4X 4 Elemen pada Frekuensi S-Band (2,4 GHz) Polarisasi Sirkular	Merancang antena segi empat dengan substrate FR4 dengan metode Planar array 16 Elemen	2017