

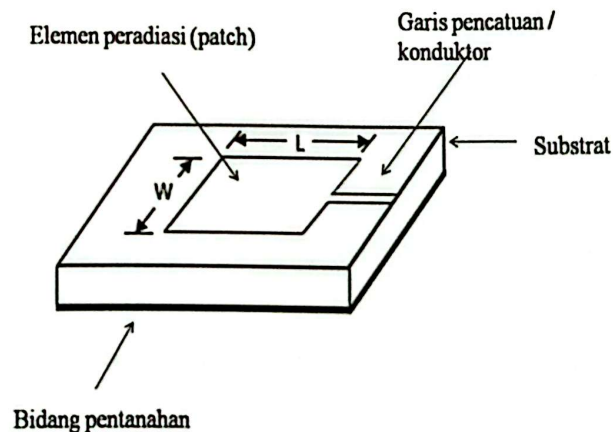
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Antena Mikrostrip

Antena menurut *Webster's Dictionary* antena didefinisikan sebagai “a usually metallic device (such as a rod or wire) for radiating or receiving radio waves”[3]. Sedangkan definisi menurut IEEE (IEEE Std 145-1983) antena adalah “a means for radiating or receiving radio waves”[3]. Antena merupakan suatu perangkat yang mentransformasikan sinyal elektromagnetik dari saluran transmisi ke dalam bentuk sinyal radiasi gelombang elektromagnetik dalam ruang bebas, dan juga menangkap dan mengumpulkan gelombang elektromagnetik dari ruang bebas dan mentransformasikannya ke dalam bentuk pada saluran transmisi.

Fungsi antena adalah untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik, lalu meradiasikannya (Pelepasan energi elektromagnetik ke udara/ruang bebas). Dan sebaliknya, antena juga dapat berfungsi untuk menerima sinyal elektromagnetik (penerima energi elektromagnetik dari ruang bebas) dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.



Gambar 2.1. Struktur antena mikrostrip

Antena mikrostrip adalah jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang tinggi yaitu diatas 100 MHz. Mikrostrip sendiri berasal dari dua kata yaitu *micro* (sangat kecil) dan *trip* (bilah/potongan), sehingga antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai antena yang memiliki bentuk seperti bilah/potongan yang

ukurannya sangat kecil [6]. Dalam perkembangannya hingga saat ini bentuk dan jenis antena semakin beragam. Salah satunya adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang tinggi. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki masa ringan dan mudah dipabrikasi sehingga mudah untuk ditempatkan pada hampir semua permukaan. Sifat inilah yang sangat sesuai pada antena mikrostrip dengan kebutuhan saat ini yaitu pada peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil[4].

Antena mikrostrip ini juga memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan antena lain, diantaranya :

- Low-profile, ringan serta ukuran kecil dan compact sehingga lebih fleksibel dalam penggunaannya.
- Low-fabrication cost, fabrikasi mudah dan murah, dan dapat diproduksi dengan menggunakan teknik printed-circuit atau dengan teknik pemotongan biasa.
- Mempunyai penampang yang tipis, namun secara mekanik lebih tahan terhadap permukaan yang keras.
- Dapat dibuat compact sehingga cocok untuk komunikasi bergerak
- Dapat beroperasi pada single band, dual band, ataupun multi-band

Namun antena mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan, diantaranya :

- *Bandwidth* yang sempit.
- *Gain* yang cukup rendah.
- Ukuran antena mikrostrip yang kecil memerlukan ketelitian yang sangat tinggi dalam perancangan dan pembuatan.
- Dapat menimbulkan radiasi yang tidak diinginkan pada *feed line*-nya.

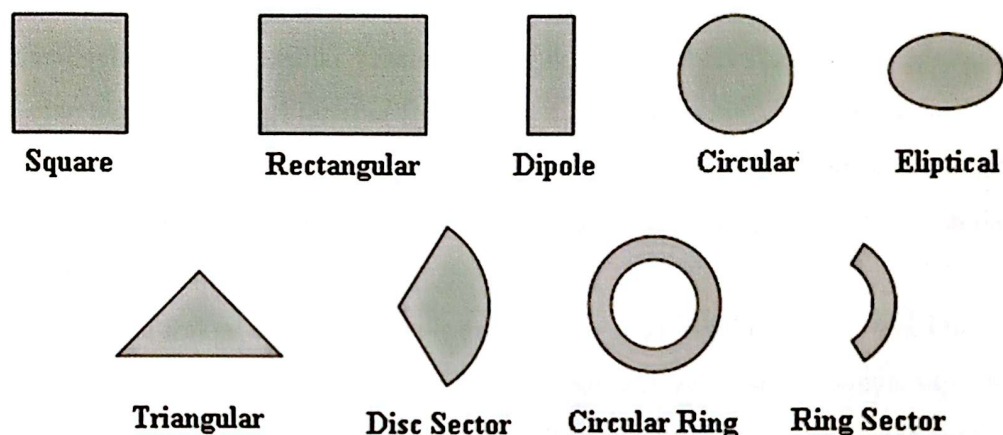
Dari gambar 2.1, dapat dilihat bahwa antena mikrostrip terdiri atas tiga bagian yaitu elemen peradiasi (*patch*), substrat dan elemen pertanahan (*ground plane*). Mikrostrip antena sering disebut juga sebagai *patch antena*. Elemen peradiasi dan *transmission line* biasanya di *photoetched* diatas permukaan substrat dielektrik. Elemen peradiasi terbuat dari bahan metal yang mempunyai ketebalan yang sangat tipis. Elemen

ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. lapisan-lapisan pada substrat adalah sebagai berikut: patch peradiasi, substrat dielektrik dan ground plane.

2.1.1 Patch Peradiasi (Conducting Patch)

Patch ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara, terletak paling atas dari keseluruhan sistem antenna. *Patch* terbuat dari bahan konduktor, misal tembaga. Bentuk *patch* bisa bermacam-macam, *square* (bujur sangkar), *circular* (lingkaran), *rectangular* (persegi), *triangular* (segitiga), *dipole*, *eliptical*, *circular ring*, *disc sector* ataupun *ring sector*.

Besar, panjang, lebar maupun radius dari elemen patch sangat mempengaruhi frekuensi kerja antenna. Elemen peradiasi dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Contoh bentuk *patch* antenna mikrostrip

2.1.2 Substrat Dielektrik

Substrat merupakan bagian yang membatasi elemen peradiasi dan pertanahan. Bagian ini memiliki konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi dan ketebalan (h) tertentu, ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth* dan efisiensi antenna yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar dari ketebalan *patch* atau elemen peradiasi.

Substrat berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah dibawah *patch*. Substrat sangat berpengaruh pada besar

parameter-parameter antenna. Pengaruh ketebalan substrat dielektrik terhadap parameter antenna adalah pada *bandwidth*. Semakin tebal substrat dan semakin kecil permitivitas relatif maka akan memperbesar *bandwidth*. Sama seperti *patch*, substrat juga ada bermacam-macam, misalnya udara, *Styrofoam*, *FR4-epoxy*, dan lain-lain. Pada skripsi ini substrat yang digunakan *FR4 Epoxy*.

2.1.3 Groundplane

Groundplane berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. Groundplane antenna mikrostrip biasanya terbuat dari bahan konduktor dan dalam kenyataannya mempunyai luas yang tak hingga. Tetapi dalam pembuatan antenna ini luasnya dibatasi supaya memudahkan dalam pembuatan dan analisis.

2.2 Antena Fraktal Sierpinski Gasket

Secara umum fraktal didefinisikan sebagai bentuk geometri yang terbentuk dari bagian-bagian yang memiliki kesamaan bentuk apabila dilakukan proses pembesaran terhadap bentuk geometri tersebut [6]. Fraktal dikatakan memiliki detil yang tak hingga dan dapat memiliki struktur serupa diri pada tingkat perbesaran yang berbeda. Pada banyak kasus, sebuah fraktal bisa dihasilkan dengan cara mengulang suatu pola dalam proses rekursif atau iteratif [6].

Antena fraktal adalah satu jenis antenna yang memiliki bentuk geometri berulang dimana bentuk tersebut tersusun dari bentuk geometri yang sama, hanya saja dalam ukuran skala yang berbeda, disebut sebagai desain 'self-similar' atau 'self-symmetric'. Selain bentuk geometri, rancangan tersebut dapat juga berupa pola-pola yang selalu berulang, biasanya hal ini disebut 'initiator' atau 'generator'. Bentuk geometri fraktal sangat kompleks yang memiliki kemiripan struktur geometri dengan sisi yang lain. Keuntungan dari bentuk geometri fraktal yaitu dapat mendukung operasi atau penggunaan frekuensi multiband.

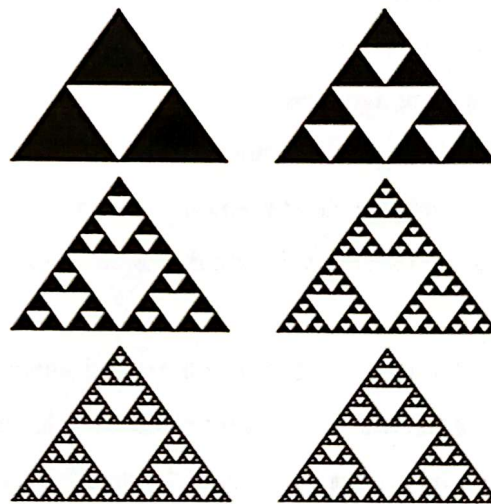
Beberapa keuntungan utama dari bentuk antenna fraktal antara lain :

- Fraktal, melalui bentuk self-similar mereka sendiri, adalah sebuah sistem alami dimana melalui kompleksitasnya menyediakan sifat antenna yang dicari saat ini. Antena fraktal secara radikal mengubah hubungan antara *bandwidth*, *gain*, dan

ukuran sehingga memungkinkan antena untuk lebih kuat, serbaguna dan kompak[5].

- Fraktal antena bisa menghasilkan semua bentuk dari fraktal yang cocok untuk semua tipe antena.
- Teknologi antena fraktal mampu memberi peningkatan yang unik pada antena array, meningkatkan bandwidth-nya, memungkinkan untuk bekerja secara multiband, mengurangi bentuk atau ukuran, dan memungkinkan teknologi antena cerdas (*smart antenna*) agar antena dapat bekerja lebih optimal.
- Meningkatkan bandwidth/multiband dan gain dalam ukuran yang lebih kecil.
- Kualitas yang melekat pada fraktal memungkinkan menghasilkan antena dengan performansi tinggi yang biasanya 50 sampai 70 persen lebih kecil dari bentuk yang lama.

Lebih lanjut, antena fraktal lebih handal dan lebih murah dalam pembuatan dibanding antena tradisional dimana performansi antena dapat dicapai melalui bentuk geometri dari konduktor, daripada harus melakukan akumulasi dari beberapa komponen yang terpisah atau beberapa elemen terpisah yang tentunya meningkatkan kompleksitas dan biaya.



Gambar 2.3. Bentuk dasar geometri fraktal Sierpinski Gasket

Struktur matematika yang merupakan suatu bentuk fraktal adalah *Sierpinski Gasket*, *Sierpinski Carpet*, *Cantor Comb*, *Von Korch Snowflake*,. Istilah Fraktal, yang

secara bahasa berarti patah (broken) merupakan suatu geometri yang tersusun dari pengulangan-pengulangan dari struktur dasar geometri tersebut dengan berbagai skala.

Antena fraktal sierpinski gasket ini menawarkan berbagai macam keuntungan, yaitu antena ini dapat dibuat dengan ukuran yang kecil menghasilkan beberapa frekuensi resonan (multiband), dan dapat mengoptimalkan gain. Secara geometri, desain sierpinski gasket yang paling dikenal adalah dengan pola geometri segitiga yang dibuat dengan pengulangan bentuk segitiga itu sendiri. Pola geometri fraktal sierpinski gasket seperti ditunjukkan pada gambar 2.3.

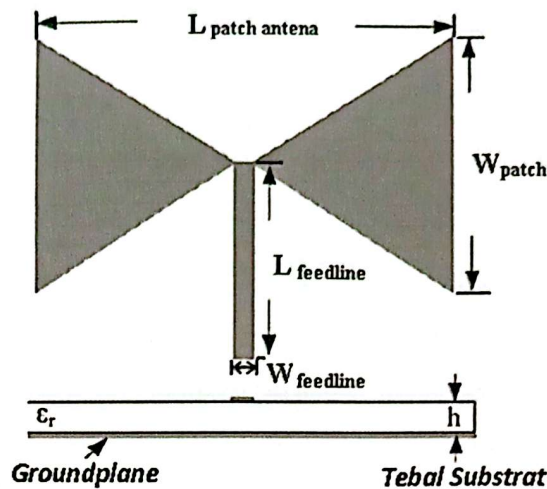
2.3 Antena Mikrostrip Bowtie

Secara umum antena bowtie terlihat seperti sebuah dasi kupu-kupu. Antena Bowtie merupakan perkembangan dari antena biconical dimana antena biconical mengambil prinsip antena dipole. Antena biconical memiliki dimensi yang cukup besar terdiri dari dua buah corong berbentuk kerucut. Alasan dibuatnya antena biconical adalah karena antena biconical memiliki karakteristik bandwidth yang lebih besar daripada antena dipole biasa. Kelebihan utama dari bowtie adalah desain yang sederhana dan impedansi yang lebar.

Bentuk antena bow-tie merupakan pengembangan desain antena dari bentuk patch segitiga (*triangle*) [6]. Antena bowtie pada dasarnya termasuk dalam jenis antena dipole bentuk kawat dengan penambahan beberapa elemen untuk dapat melakukan pengaturan impedansi input antena. Pada perkembangannya antena bowtie bentuk kawat dikonversi kedalam bentuk patch. Antena bowtie bentuk patch lebih kecil dari antena bowtie bentuk kawat. Kelebihan bentuk bowtie adalah mempunyai radiator yang lebih besar. Antena bowtie digunakan untuk menghasilkan frekuensi kerja yang sama pada kedua polarisasinya.

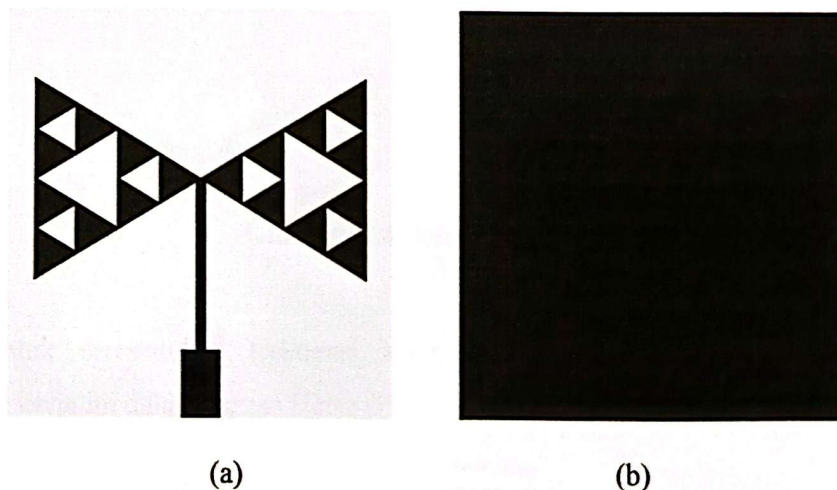
Dalam skripsi ini, antena bowtie disusun dari dua buah patch antena segitiga sama sisi yang diberi catuan oleh feedline tepat di pertemuan kedua segitiga tersebut. Antena bowtie ini memiliki beberapa keunggulan antara lain berbentuk sederhana, berpita lebar dan mudah untuk dibuat. Untuk mendapatkan keuntungan-keuntungan tersebut, perlu memperhatikan beberapa parameter antena seperti pola radiasi, voltage standing wave ratio (VSWR), lebar pita dan frekuensi, gain serta cakupan antena juga merupakan parameter yang penting untuk antena bowtie. Namun hal yang paling berpengaruh bagi kinerja antena bowtie adalah bentuk, ukuran antena dan strukturnya.

Antena bowtie ini memiliki beberapa keunggulan antara lain berbentuk sederhana, berpita lebar dan mudah untuk dibuat [10].



Gambar 2.4. Bentuk dasar antena bowtie

Untuk mendapatkan keunggulan dari antena bowtie yang memiliki bandwidth yang lebar serta sekaligus mendapatkan keunggulan dari antena fraktal yang memiliki karakter bersifat multiband, serta dalam bentuk antena mikrostrip yang berdimensi kecil dan tipis, maka pada skripsi ini akan dibahas mengenai desain antena mikrostrip fraktal bowtie yang mampu bekerja pada beberapa band frekuensi resonansi. Berikut desain antena mikrostrip multiband fraktal bowtie yang akan direalisasikan pada skripsi ini ditunjukkan pada gambar 2.5.

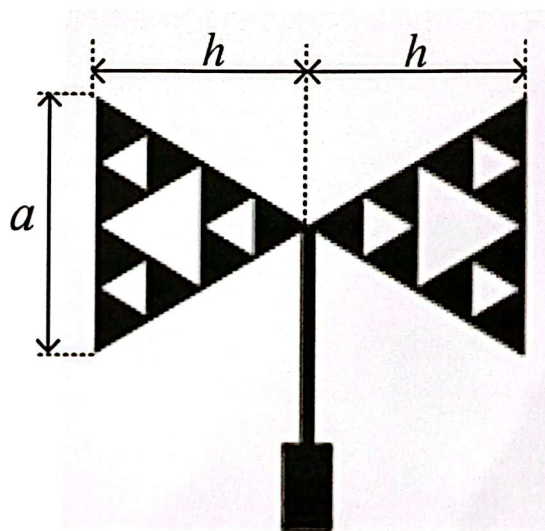


Gambar 2.5. Desain antena mikrostrip multiband fraktal bowtie, (a) tampak depan (b) tampak belakang

Segitiga sama-sisi utama (pembentuk antena bowtie) merupakan antena patch. Sedangkan bentuk fraktal segitiga dalam segitiga utama bowtie ini berupa slot dengan geometri segitiga dengan skala yang mengecil berdasarkan geometri Sierpinski gasket.

2.3.1 Dimensi Patch Antena

Untuk mencari dimensi suatu antena mikrostrip (a , W , dan L) harus diketahui parameter bahan yang akan digunakan yaitu ketebalan dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t), dan rugi-rugi bahan. Panjang antena mikrostrip harus disesuaikan, karena panjang pendeknya suatu panjang antena mikrostrip akan mempengaruhi nilai bandwidth. Semakin panjang maka bandwidth akan semakin lebar, sedang semakin pendek maka bandwidth akan semakin sempit. Dengan mengatur lebar antena mikrostrip juga akan mempengaruhi impedansi masukan antena tersebut. Sebelum menghitung dimensi panjang sisi patch segitiga, terlebih dahulu menentukan frekuensi kerja antena mikrostrip yang akan dirancang.



Gambar 2.6. Dimensi Patch Segitiga

Untuk menentukan frekuensi kerja (f_c) dapat digunakan persamaan 2.1, Frekuensi kerja ini dalam satuan Hertz (Hz).

$$f_{c(Hz)} = \frac{f_{high(Hz)} + f_{low(Hz)}}{2} \quad (2.1)$$

Menentukan panjang gelombang pada ruang bebas dapat diketahui dengan

menggunakan Persamaan (2.2) dalam satuan meter (m) dan dalam pembuatan antenna mikrostrip panjang gelombang dalam meter dikonversi kedalam milimeter (mm).

$$\lambda_{0(m)} = \frac{c_{(m/s)}}{f_{(Hz)}} \quad (2.2)$$

Beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam menghitung dimensi elemen peradiasi segitiga adalah Frekuensi resonan (f_r) dan konstanta dielektrik (ϵ_r). Untuk menentukan dimensi awal dari slot segitiga yang akan akan disimulasikan, maka digunakan rumus perhitungan frekuensi resonansi patch segitiga pada antenna mikrostrip patch seperti pada persamaan 2.3. frekuensi resonansi untuk antenna mikrostrip dengan patch segitiga sama sisi sesuai dengan rumus, dalam satuan Hertz (Hz) :

$$f_{r(Hz)} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

Sehingga panjang sisi segitiga sama sisi a dalam satuan panjang meter (m):

$$a_{(m)} = \frac{2c}{3f_{r\sqrt{\epsilon_r}}} \quad (2.4)$$

dimana :

F_r : Frekuensi resonansi (Hz)

a : panjang sisi segitiga (meter)

Panjang sisi segitiga ini kemudian dipakai sebagai acuan untuk menghitung dimensi slot segitiga fraktal.

Untuk menentukan dimensi dari patch antenna pada skripsi ini, ada dua parameter penting yang perlu dihitung yaitu tinggi patch antenna (h) dan panjang sisi patch antenna segitiga (a).

a. *Tinggi patch antenna (h), dalam satuan meter (m):*

$$h_{(m)} = 0.152 \frac{c}{f_r} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)(\delta)^n \quad (2.5)$$

Karena pada fraktal sierpinski ini menggunakan segitiga sama sisi, maka nilai flat rate atau sudut segitiga (α) yang digunakan adalah 60° .

b. *Panjang Sisi patch antenna (a), dalam satuan meter (m):*

Sisi patch antenna dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.6 :

$$a_{(m)} = \frac{h_{(m)}}{\cos 30} \quad (2.6)$$

2.3.2 Penentuan Impedansi Masukan Elemen Peradiasi Saluran Transmisi

Perancangan suatu antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (matching impedance). Suatu jalur transmisi dikatakan match jika karakteristik impedansi $Z_0 = Z_L$ atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 Ω . Z_L merupakan impedansi beban, dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekivalen Z_L .

Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang matched sangat diperlukan. Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan antenna ini terdiri dari tiga spesifikasi saluran pencatu :

- Saluran pencatu 100 Ω (Z_L), yang langsung dihubungkan dengan patch antenna.
- Saluran pencatu 50 Ω (Z_0), yang langsung dihubungkan ke konektor 50 Ω .
- Saluran pencatu 70,7 Ω (Z_T), yang digunakan sebagai transformator $\lambda/4$ antara saluran 100 Ω dan 50 Ω .

Nilai impedansi transformer Z_T dalam satuan Ohm (Ω) dapat ditentukan dengan persamaan 2.7.

$$Z_{T(\Omega)} = \sqrt{Z_{0(\Omega)} \times Z_{L(\Omega)}} \quad (2.7)$$

2.3.3 Penentuan Ukuran Saluran Pencatu

Untuk mengetahui dimensi dari pencatu antenna $Z_0 = 50 \Omega$ baik lebar maupun panjang diperlukan :

- Frekuensi tengah (fr)
- Lebar antenna (W)
- Tebal *Substrate* (d)
- Data permitivitas (ϵ_r)
- Menentukan harga konstanta A, menggunakan persamaan 2.8

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} (0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}) \quad (2.8)$$

- Menentukan Lebar Pencatu 50 Ω , W dalam meter (m)

$$W_{(m)} = d \left(\frac{8e^A}{e^{2A}-2} \right) \quad (2.9)$$

- Menentukan konstanta dielektrik efektif saluran pencatu 50 Ω

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

- Menentukan panjang saluran pencatu dalam satuan meter (m)

$$L_{(m)} = \lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.11)$$

karena menggunakan saluran $\frac{1}{4} \lambda$, maka panjang saluran L1:

$$L_{(m)} = \frac{\lambda}{4} \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk mencari ukuran lebar lebar saluran pencatu dapat diperoleh dengan persamaan (2.13).

$$W_{z(m)} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (2.13)$$

Dimana nilai konstanta A :

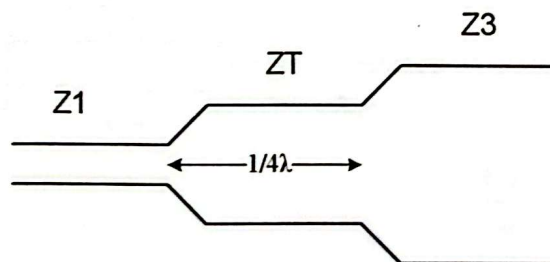
$$A_O = \frac{Z_0}{50} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.14)$$

$$A_L = \frac{Z_L}{100} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.15)$$

$$A_T = \frac{Z_T}{70,71} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.16)$$

2.3.4 Penentuan Panjang Saluran Transformer

Untuk menentukan panjang saluran transformer (L_T) $\frac{1}{4}\lambda$ seperti diperlihatkan pada gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2.7. Pemberian transformator $\frac{1}{4}\lambda$

Digunakan Persamaan (2.17) L_T dalam satuan panjang meter (m) sebagai berikut:

$$L_T(m) = \frac{\lambda_d(m)}{4} \quad (2.17)$$

Dimana nilai λ_d adalah panjang gelombang bahan dielektrik dalam satuan meter (m) yang dapat diperoleh dengan persamaan (2.18) sebagai berikut:

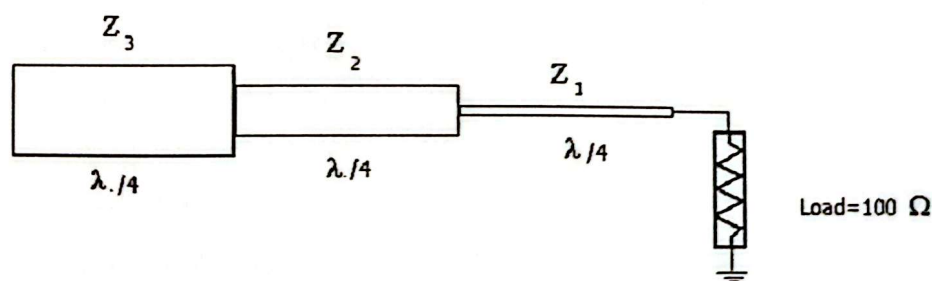
$$\lambda_d(m) = \frac{\lambda_0(m)}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.18)$$

2.4 Impedansi Matching

Perancangan suatu antenna tidak lepas dari penyesuaian impedansi. Suatu jalur transmisi dikatakan matching apabila karakteristik impedansi $Z_1 = Z_2$, atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_1 merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_1 . Z_2 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Saat kondisi matching saluran transmisi dapat menstransfer daya secara sempurna dan daya yang hilang pada saluran minimum serta dapat mengurangi amplitude dan phase errors.

Untuk mencapai kondisi matcing, dapat dilakukan dengan cara menambahkan transformator $1/4\lambda$, pemberian single stub, dan double stub.

Tapered Microstrip Lines banyak digunakan pada frekuensi radio dan geombang mikro. Tapered microstrip lines sering digunakan sebagai tranformator impedansi, resonator dan filter pada frekuensi gelombang mikro dan memiliki kelebihan matching impedansi pada broadband bila digunakan sebagai transformator impedansi, resonator, dan filter.



Gambar 2.8. Tapered microstrip lines

Transformator $1/4\lambda$ adalah suatu teknik matching impedansi dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T diantara dua saluran transmisi yang tidak matching seperti pada gambar 2.8. Panjang saluran transmisi transformator $1/4\lambda$ ini adalah sebesar $l = 1/4\lambda_g$ dengan λ_g merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung pada persamaan 2.19 dalam satuan meter (m).

$$\lambda_{g(m)} = \frac{\lambda_0(m)}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.19)$$

Dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20 dalam satuan Ohm (Ω)

$$Z_{T(\Omega)} = \sqrt{Z_{1(\Omega)} Z_{2(\Omega)}} \quad (2.20)$$

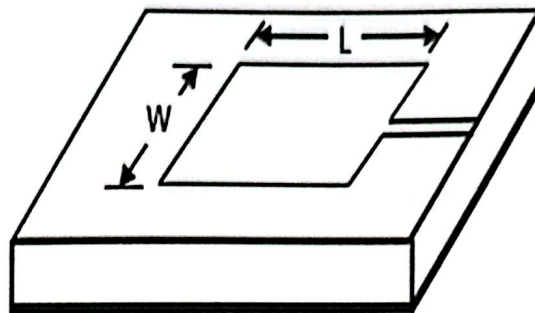
2.5 Teknik Pencatutan

Dalam perancangan antenna, teknik pencatutan merupakan hal yang sangat penting karena salah satu syarat antenna yang baik ialah apabila impedansi input sesuai (*matched*) dengan impedansi karakteristik kabel pencatutnya serta dapat memancarkan dan menerima energi gelombang radio dengan arah polarisasi yang sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Teknik pencatutan yang digunakan pada antenna mikrostrip diklasifikasikan menjadi dua yaitu pencatutan secara langsung (*direct coupled*) dan secara tidak langsung (*proximity coupled*). Pada teknik pencatutan langsung (*direct coupled*), *power RF* langsung dicatu ke *patch* menggunakan elemen penghubung pada jalur mikrostrip tersebut. Kelebihan pencatutan secara langsung adalah sangat sederhana dalam proses pencatutannya tetapi sulit jika antenna mikrostrip disusun secara *array* dan *bandwidth* yang dihasilkan sempit. Dengan kekurangan ini maka dalam perkembangan selanjutnya diperkenalkan apa yang disebut pencatutan tidak langsung atau *electromagnetic coupling*. Keuntungan dari teknik pencatutan ini adalah dapat memperlebar *bandwidth* dan dapat mengurangi proses penyolderan. Ada 4 macam teknik pencatutan yang paling populer digunakan, yakni *proximity coupling*, *microstrip line*, *coaxial probe*, dan *aperture coupling* [1].

2.5.1 Microstrip Line

Teknik *microstrip line* sangat mudah untuk difabrikasi, memiliki model yang sederhana serta mudah untuk *match* hanya dengan mengatur posisi *feed* tersebut. Teknik

ini menggunakan *strip* kecil sebagai *line* tambahan yang langsung dihubungkan ke *patch* antena seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.

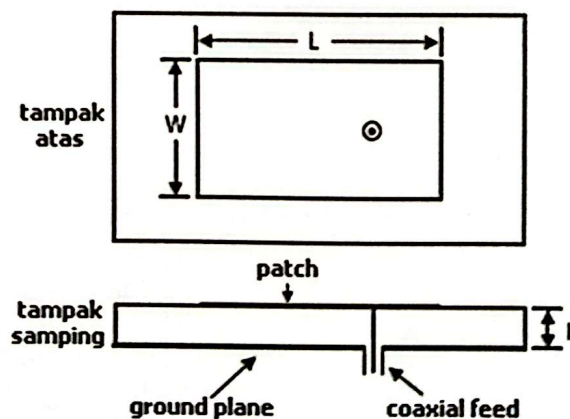


Gambar 2.9. Antena Mirostrip dengan Pencatuan *Microstrip Line*

Pada antena mikrostrip terdapat beberapa bentuk diskontinuitas dari saluran pencatu, yaitu lekukan (*corners*), perubahan lebar saluran (*symmetrical step* atau *step feedline*), dan saluran T (*T – junction*) yang akan menghasilkan reaktansi parasitik.

2.5.2 Coaxial Probe

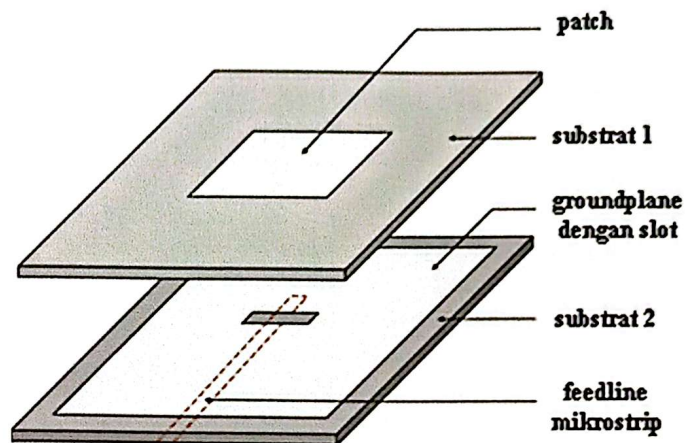
Pada teknik pencatuan coaxial probe seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, bagian dalam konduktor dari coax ditambahkan kedalam patch radiasi sementara bagian luar konduktornya dihubungkan dengan ground plane. Teknik pencatuan ini juga sering digunakan karena mudah difabrikasi dan memiliki radiasi palsu yang kecil.



Gambar 2.10. Antena Mikrostrip Dengan Pencatuan *Coaxial Probe*

2.5.3 Aperture Coupling

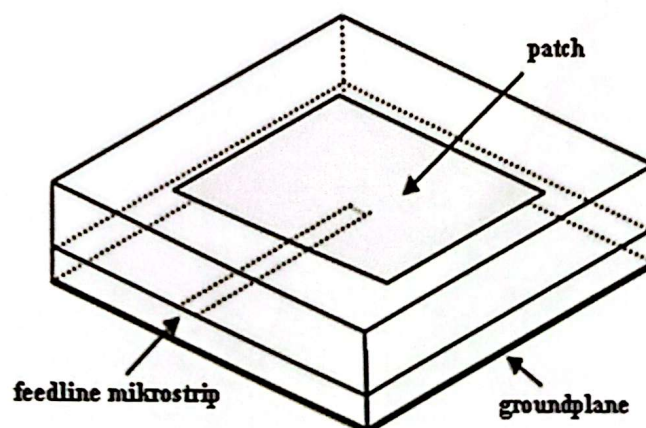
Dari keempat jenis teknik pencatutan, teknik *aperture coupling* merupakan yang paling sulit untuk difabrikasi dan memiliki *bandwidth* yang sempit. Untuk mengoptimalkan desain, *aperture coupling* terdiri atas dua buah substrat yang terpisahkan oleh sebuah *ground plane* seperti Gambar 2.11. Pada dasar substrat yang bawah terdapat sebuah mikrostrip *line feed* yang memiliki energi terkopel dengan *patch* melalui suatu *slot* pada *ground plane* yang memisahkan kedua substrat tersebut.



Gambar 2.11. Antena mikrostrip dengan pencatutan *aperture coupling*

2.5.4 Proximity Coupled

Proximity coupled seperti yang terlihat pada Gambar 2.12 merupakan teknik pencatutan yang memiliki keunggulan pada *bandwidth* yang dihasilkan paling besar dan radiasi tambahan (*spurious radiation*) yang kecil.



Gambar 2.12. Antena mikrostrip dengan pencatutan *proximity coupled*

2.6 Parameter - Parameter Antena

Dalam melakukan penilaian pada sebuah antena yang digunakan, maka dibutuhkan parameter-parameter antena agar kita bisa menentukan apakah suatu antena cocok dipakai pada aplikasi atau tidak. Ada besaran-besaran penting sebagai karakteristik dari setiap antena. Besaran-besaran penting dari setiap antena biasanya ditentukan pada pengamatan medan jauh (*farfield*). Berikut ini beberapa karakteristik parameter-parameter antena tersebut:

2.6.1 Return Loss

Return loss merupakan besaran daya pantul (faktor refleksi) yang disebabkan oleh beban yang tidak *match* dengan saluran transmisi (dalam dB). *Return loss* dapat terjadi karena adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi. Rumus mencari *return loss* seperti persamaan dibawah ini :

$$RL_{(dB)} = 20 \log |\Gamma_L| \quad (2.21)$$

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.22)$$

Dimana :

Γ = koefisien refleksi tegangan

V_0^- = tegangan yang dipantulkan (V)

V_0^+ = tegangan yang dikirimkan (V)

Z_L = impedansi beban (Ω)

Z_0 = impedansi saluran (Ω)

Nilai *return loss* yang baik adalah dibawah -10 dB, nilai ini diperoleh untuk nilai VSWR = 2, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan, atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.6.2 VSWR

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan impedansi *input* dengan saluran *feeder* tidak *matching*. Tegangan maksimum didapat apabila tegangan yang datang dan pantul mempunyai fasa yang sama sehingga saling menjumlahkan, sedangkan tegangan minimum didapat apabila tegangan yang datang dan pantul mempunyai fasa yang berbeda sehingga saling mengurangkan. VSWR merupakan parameter untuk menentukan kualitas antenna, yaitu seberapa baik penyesuaian impedansi oleh sebuah antenna. Rumus untuk mencari VSWR ialah :

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma_L|}{1-|\Gamma_L|} \quad (2.23)$$

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 yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ), yaitu :

$$\Gamma = \frac{(V_{0-})}{(V_{0+})} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.24)$$

di mana :

Z_L = impedansi beban (*load*) dalam Ohm (Ω)

Z_0 = adalah impedansi saluran *lossless* dalam Ohm (Ω)

Γ = koefisien refleksi tegangan

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

$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat.

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.

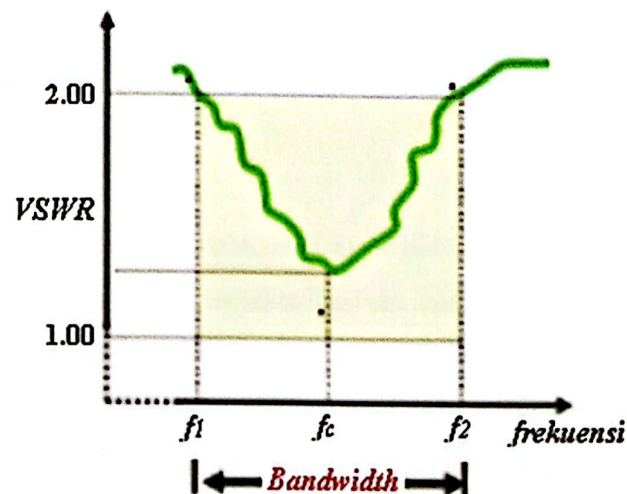
$\Gamma = 1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini

pada prakteknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antenna adalah $VSWR \leq 2$.

2.6.3 Bandwidth

Bandwidth merupakan daerah frekuensi pada antenna yang menunjukkan lebar atau sempitnya frekuensi kerja suatu antenna. Pada umumnya kriteria *bandwidth* antenna adalah besarnya perubahan impedansi antenna tersebut terhadap perubahan frekuensi kerja dari frekuensi tengahnya. Perubahan impedansi antenna biasanya ditunjukkan oleh perubahan harga VSWR. Jadi, *bandwidth* antenna dapat diartikan sebagai lebar bidang frekuensi untuk VSWR dibawah suatu harga tertentu. Berikut ini diperlihatkan ilustrasi *bandwidth* pada gambar 2.13. *Bandwidth* dapat dihitung dengan rumus 2.25 berikut :



Gambar 2.13. Ilustrasi *bandwidth* pada $VSWR \leq 2$

$$Bandwidth_{(Hz)} = f_{2(Hz)} - f_{1(Hz)} \quad (2.25)$$

dimana :

f_2 = frekuensi tertinggi

f_1 = frekuensi terendah

2.6.4 Impedansi Input Antena

Impedansi akan menentukan proses *matching* dengan saluran transmisi. Impedansi input antena merupakan impedansi antena jika antena terisolasi dari keadaan sekelilingnya. Impedansi input dipengaruhi oleh antena atau benda-benda yang berada di sekitar antena tersebut tapi dapat diasumsikan bahwa antena terisolasi. Impedansi input antena perlu diperhitungkan untuk memperoleh efisiensi penyaluran daya yang maksimum. Impedansi input antena terdiri dari resistansi input dan reaktansi input.

$$Z_{in(\Omega)} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.26)$$

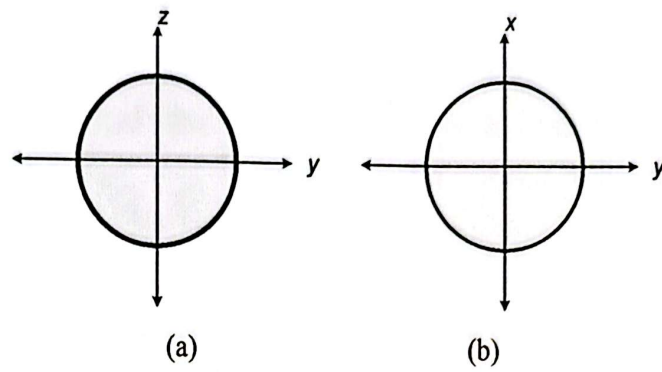
Reaktansi *input* (X_{in}) merepresentasikan daya yang disimpan disekitar antena. Sedangkan resistansi *input* (R_{in}) merepresentasikan disipasi atau daya hilang yang terjadi karena hilang sebagai panas pada bagian antena, dan daya yang memang diradiasikan melalui antena.

2.6.5 Pola Radiasi

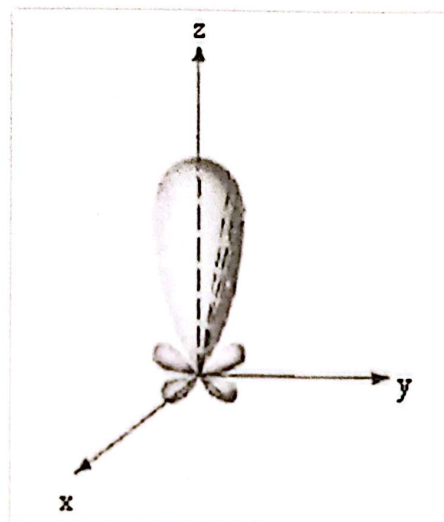
Pola radiasi antena ialah besaran yang menentukan ke arah sudut mana sudut sebuah antena memancarkan atau mendistribusikan energinya. Pola radiasi antena dibentuk oleh dua buah pola radiasi berdasar bidang irisan, yaitu pola radiasi pada bidang irisan arah elevasi (pola elevasi) dan pola radiasi pada bidang irisan arah azimuth (pola azimuth). Kedua pola tersebut 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. Antena memiliki pola radiasi yang terbagi dalam tiga jenis, yaitu :

1. Pola radiasi Isotropis

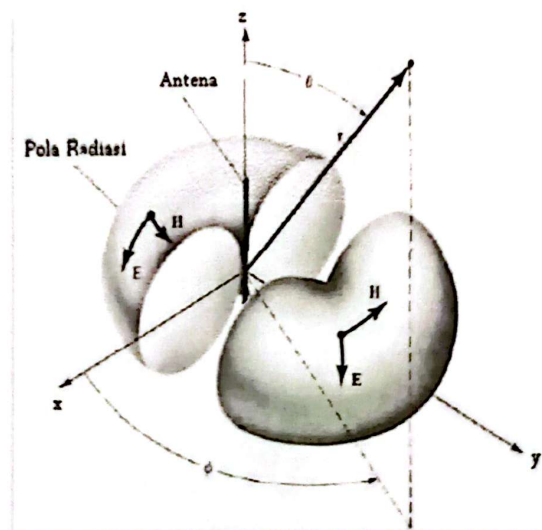
Isotropis adalah arah pancaran antena ke berbagai arah dengan energi sama besar pada seluruh bidang. Pola radiasi antena isotropis dalam tiga dimensi bentuk pola radiasinya seperti bola [4]. Antena isotropis ini merupakan jenis antena ideal dan secara teoritis dijadikan sebagai referensi dalam pengukuran antena lain namun tidak mungkin direalisasikan karena dalam hal ini antena sebagai titik. Pola radiasi isotropis terdapat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Pola Radiasi Isotropis (a) *H-plane* (b) *E-plane*



Gambar 2.15. Pola Radiasi *Directional*



Gambar 2.16. Pola Radiasi *Omnidirectional*

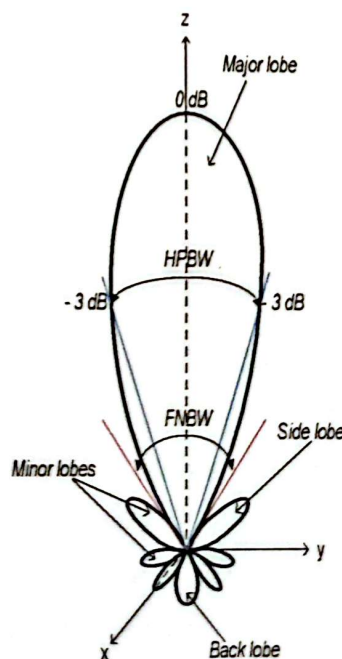
2. Pola Radiasi *Directional*

Directional adalah arah pancaran antenna ke arah sudut tertentu. Pada arah tertentu, antenna direksional mengirimkan intensitas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan yang dikirim oleh antenna isotropis, dan arah yang lain intensitasnya jauh lebih kecil dibandingkan oleh antenna isotrop. Jadi antenna direksional mengalokasikan energi secara berbeda pada setiap sudut pancarnya[2]. Antenna dengan pola radiasi *directional* sering digunakan pada komunikasi *point-to-point*. Pola radiasi *directional* dapat dilihat pada gambar 2.15.

3. Pola Radiasi *Omnidirectional*

Omnidirectional adalah arah pancaran antenna ke berbagai arah dengan energi pada satu bidang sama besar. Pola radiasi antenna *omnidirectional* terdapat pada gambar 2.16.

Bentuk pola radiasi merupakan bentuk tiga dimensi. Secara umum pola ini berupa *lobe-lobe* seperti diperlihatkan pada gambar 2.17 dibawah ini dalam koordinat polar. Pada pola radiasi ini dapat dianalisis parameter-parameter pola radiasi dari sebuah antenna secara lengkap[1].



Gambar 2.17. Parameter Pola Radiasi

1. *Main (major) lobe* : Lobe utama dimana terdapat radiasi maksimum.
2. *Side (minor) Lobes* : Lobe-lobe selain main lobe, yang merupakan merupakan energi “bocoran”.
3. *Back Lobe* : Side lobe yang muncul kearah yang berlawanan dengan main lobe.
4. *HPBW (Half Power Beamwidth)* : Merupakan lebar sudut beam pada level setengah daya.
5. *FNBW (First Null Beamwidth)* : Merupakan lebar sudut diantara dua titik nol pertama dari main lobe.
6. *SLL (Side Lobe Level)* : Merupakan ukuran untuk menyatakan besaran dari side lobe pertama, merupakan nilai perbandingan antara side lobe terhadap main lobe.
7. *FBR (Front to Back Ratio)* : Merupakan rasio perbandingan dari level main lobe terhadap back lobe.

2.6.6 Polarisasi Antena

Salah satu sifat penting dari gelombang elektromagnetik adalah polarisasi yang menggambarkan orientasi dari medan listrik E pada bidang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Sedangkan polarisasi antena berarti arah gerak medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena pada lobe utamanya.

Secara umum bentuk polarisasi merupakan kasus dari polarisasi *elips*. Jika arah dari vektor medan listrik bergerak bolak-balik pada suatu garis lurus dikatakan berpolarisasi linier (*linear*). Polarisasi ini bisa horizontal atau vertikal. Pada polarisasi lingkaran (*circular*) besarnya medan listrik sama, tetapi dalam perjalanannya berputar membentuk lingkaran. Jika antena penerima memiliki polarisasi linier, maka antena ini akan menerima sinyal sama besar pada posisi vertikal saja atau pada horizontal saja[1]. Jenis – jenis polarisasi antena ini diperlihatkan pada gambar 2.18.

Axial ratio merupakan perbandingan sumbu mayor terhadap sumbu minor dalam suatu bentuk polarisasi, baik itu polarisasi melingkar, elips, ataupun linier. Karena Axial Ratio ini merupakan nilai rasio atau perbandingan, maka tidak memiliki satuan. Untuk menghitung nilai axial ratio dapat digunakan persamaan 2.27.[12]

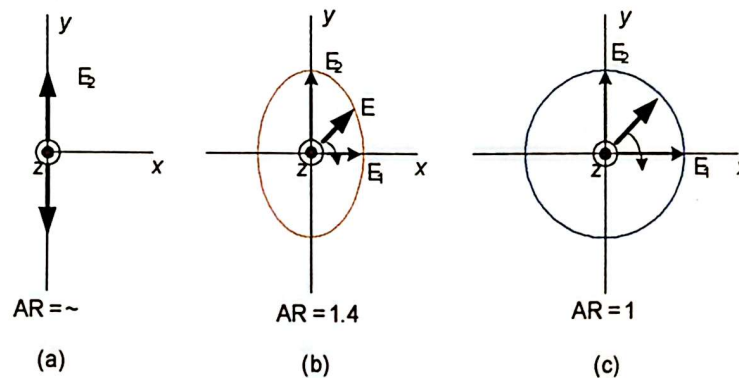
$$AR = \frac{E_{Major}}{E_{Minor}} \quad (2.27)$$

Dimana kuat medan terima dapat dihitung dengan persamaan 2.28 serta 2.29.

$$dB\mu V/m_{(dBm)} = P(Rx)_{(dBm)} + 107 + K_{(dBm)} \quad (2.28)$$

$$K_{(dBm)} = 20 \log(F_{Hz}) - G_{(dBm)} - 29,8 \quad (2.29)$$

Pada polarisasi melingkar besarnya medan listrik sama dan berputar dalam lintasan berbentuk lingkaran. Nilai axial ratio untuk polarisasi melingkar yaitu 1, sedangkan untuk polarisasi elips memiliki nilai axial ratio 1.4 dan untuk polarisasi linier memiliki nilai axial ratio tak terhingga.



(a) Polarisasi Linier, (b) Polarisasi *Elips*, (c) Polarisasi *Circular*

Gambar 2.18. Jenis polarisasi

2.6.7 Directivity

Directivity suatu antenna dapat diperkirakan dengan menggunakan pola radiasi yang dihasilkan pada pengukuran pola radiasi bidang E dan bidang H. Secara matematis dapat dituliskan :

$$D = \frac{4\pi}{(\theta_H \cdot \theta_E)} \quad (2.30)$$

dimana :

θ_H : sudut pada titik setengah daya bidang H (radian)

θ_E : sudut pada titik setengah daya bidang E (radian)

D : direktivitas antenna

2.6.8 Gain

Gain adalah perbandingan rapat daya maksimum suatu antenna terhadap rapat daya minimum suatu antenna referensi dengan syarat daya yang masuk ke kedua antenna sama besar. Idealnya antenna referensi tersebut adalah antenna isotropis, akan tetapi tidak mungkin direalisasikan, sehingga dibuatlah pendekatan pola radiasi omnidireksional, yaitu antenna memancar sama besar pada satu bidang, contohnya antenna dipole, monopole dan corong. *Gain* suatu antenna memiliki keterkaitan erat dengan direktivitas yang dapat dihitung dengan nilai efisiensi suatu antenna yang sama dengan kemampuan untuk mengarahkan.

Pada pengukuran *gain* antenna dilakukan dengan cara membandingkan daya maksimum yang diterima oleh antenna yang sedang diuji dengan daya maksimum yang diterima oleh suatu antenna referensi yang sudah diketahui *gain* yang dimilikinya.

Rumus Gain (pengukuran) :

$$G_{(dBm)} = P_1(Rx)_{(dBm)} - P_2(Tx)_{(dBm)} + G_{ref}(dB) \quad (2.31)$$

Dimana :

$P_1(Rx)$: saat antenna uji sebagai penerima (dBm)

$P_2(Tx)$: saat antenna uji sebagai pemancar (dBm)

G_{ref} : gain antenna referensi (dB)