

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK
APLIKASI *GROUND PENETRATING* RADAR (GPR)**

*THE DESIGN OF MICROSTRIP ANTENNA FOR THE
APPLICATIONS OF GROUND PENETRATING RADAR (GPR)*

R U S L I



PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK
APLIKASI *GROUND PENETRATING* RADAR (GPR)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

R U S L I

Kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

TESIS

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI *GROUND PENETRATING RADAR* (GPR)

Disusun dan diajukan oleh

RUSLI
Nomor Pokok P2700211430

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 13 Agustus 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Dr. Ir. Zulfajri B. Hasanuddin, M.Eng
Ketua

Merna Baharuddin, ST., M.Tel.Eng., Ph.D
Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Elektro,

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rusli
Nomor Mahasiswa : P2700211430
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Agustus 2013
Yang menyatakan

R u s l i

PRAKATA

Assalamu'alaikum wr.wb

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya sehingga penyusunan hasil penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian ini berjudul DESAIN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK UNTUK APLIKASI GROUND PENETRATING RADAR (GPR).

Penelitian ini diharapkan dapat turut memperkaya khasanah keilmuan di bidang telekomunikasi khususnya mahasiswa Teknik Elektro Teknik Telekomunikasi Program Pasacasarjana Universitas Hasanuddin.

Penyusunan penelitian ini, tentunya tidak terlepas dari berbagai kendala tetapi dapat diselesaikan dengan baik berkat kritik maupun koreksi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Prof. DR. Ir. H. Salama Manjang, MT.**, sebagai Ketua Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Ir. Zulfajri B. Hasanuddin, M.Eng.**, dan Ibu **Merna Baharuddin, ST., M.Tel.Eng., Ph.D.**, selaku Komisi Penasehat, atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan.
3. Bapak **Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT** ; **Elyas Palantei, ST., M.Eng., Ph.D., M.Eng** dan **Muh. Niswar, ST.,MIT., Ph.D** selaku Dosen Penguji.
4. Seluruh staf Administrasi program pascasarjana Universitas Hasanuddin.

5. Seluruh sahabat seperjuangan, mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin khususnya angkatan 2011.

Diharapkan agar tulisan ini nantinya dapat bermanfaat bagi setiap mahasiswa yang berkecimpung dalam pengembangan ilmu telekomunikasi. Disadari pula tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan kritikan yang sifatnya membangun senantiasa kami harapkan untuk memperoleh hasil yang lebih baik. Semoga Allah SWT selalu memberikan Rahmat-Nya kepada kita semua

Makassar, 13 Agustus 2013

Penulis

ABSTRAK

RUSLI. *Desain Antena Mikrostrip Untuk Aplikasi Ground Penetrating Radar (GPR)* (dibimbing oleh **Zulfajri Basri Hasanuddin** dan **Merna Baharuddin**)

Penelitian ini bertujuan (1) mendesain antena mikrostrip untuk aplikasi GPR sesuai dengan karakteristik antena dengan menggunakan *Software High Frekuensi Structure Simulator* versi 13 (HFSS v13) yang beroperasi pada frekuensi 1 GHz dan mendapatkan karakteristik antena berupa S_{11} , *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), pola radiasi dan *Axial Ratio* (2) mengimplementasikan desain antena mikrostrip ke dalam bentuk fisik dan mengukur (S_{11}) karakteristik prototipe yang telah dibuat serta menganalisis karakteristik antara desain antena dengan prototipe antena yang telah dibuat (3) melakukan pengukuran (S_{21}) perambatan gelombang terhadap permitifitas (ϵ_r) pada tanah kering dan tanah basah.

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun untuk desain antena mikrostrip *triple rectilinear*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hasil simulasi nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi 1 GHz nilai return loss sebesar -24,124 dB dan bandwidth sebesar 31 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,132. Pada frekuensi 1,185 GHz nilai return loss sebesar -14,937 dB dan bandwidth sebesar 25 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,436. Nilai *axial ratio* sebesar 45,711 dB dengan pola radiasi linier. Hasil pengukuran antena didapatkan nilai koefisien refleksi (S_{11}) pada frekuensi 1,029 GHz nilai return loss sebesar -23,768 dB dan bandwidth sebesar 31 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,21. Pada frekuensi 1,218 GHz nilai return loss sebesar -21,348 dB dan bandwidth sebesar 22 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1,21. Hasil pengukuran (S_{21}) perambatan gelombang terhadap permitifitas (ϵ_r) tanah kering dengan ketebalan 30 cm sebesar -44,610 dB, pada tanah basah sebesar -45,786 dB dan pada air -76,001 dB. Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran antena *mikrostrip triple rectilinear* layak digunakan untuk aplikasi GPR.

Kata kunci: *ground penetrating radar*, HFSS, koefisien refleksi, permitivitas tanah



ABSTRACT

RUSLI. *The Design of Microstrip Antenna for the Applications of Ground Penetrating Radar (GPR)* (Supervised by **Zulfajri Basri Hasanuddin** and **Merna Baharuddin**)

This study aims to: (1) design a microstrip antenna for GPR application based on antenna characteristics by using Software High Frekuensi Structure Simulator version 13 (HFSS v13) operated in the frekuensi of 1 GHz with some antenna characteristics including S_{11} , Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), radiation pattern and Axial Ratio; (2) implement the microstrip antenna design into a physical shape, the prototype characteristic (S_{11}) that has been made, and analyse the characteristics of the antenna design and the antenna prototype that has been made; and (3) conduct the measurement (S_{21}) to calculate wave propagation on the permitifitas (ϵ_r) in dry and wet soil.

The method used in the study was the design to develop for design *triple rectilinear* microstrip antenna. The results reveal that in the simulation with reflection coefficient value (S_{11}) at the frekuensi of 1 GHz, the return loss value is -24,124 dB, the bandwidth is 31 MHz, and the VSWR value is 1,132. At the frekuensi of 1,185 GHz, the return loss value is -14,937 dB, the bandwidth is 25 MHz, and the VSWR value is 1,436. The axial ratio is 45,711 dB with linear radiation pattern. The results of antenna measurement reveal that in the reflection coefficient value (S_{11}) at the frekuensi of 1,029 GHz, the return loss value is -23,768 dB, the bandwidth is 31 MHz, and the VSWR value is 1,21. At the frekuensi of 1,218 GHz, the return loss value is -21,348 dB, the bandwidth is 22 MHz, and the VSWR value is 1,21. The result of measurement (S_{21}) of the wave propagation on the permitifitas (ϵ_r) with a thickness of 30 cm is -44,610 dB in dry soil, -45,786 dB in wet soil and -76,001 dB in water. Based on the results of the simulation and measurement *triple rectilinear* microstrip array antenna is used for a decent applications of GPR.

Keywords: ground penetrating radar, HFSS, reflection coefficient, soil permittivity



DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Parameter Antena	6
B. Antena Mikrostrip	28
C. Ground Penetrating Radar (GPR)	41
D. Prinsip Dasar GPR	42
E. Roadmap Penelitian	46

BAB III METODE PENELITIAN	48
A. Metodologi	48
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	50
C. Tahapan Penelitian	50
D. Alat dan Bahan	58
E. Perancangan Prototipe Antena Mikrostrip	59
F. Teknik Pengukuran Prototipe Antena	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	68
A. Pengukuran Port Tunggal	68
B. Pengukuran Port Ganda	77
BAB V PENUTUP	92
A. Kesimpulan	92
B. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Daftar permitifitas relatif dari beberapa material	26
2.	Parameter umum FR4	27
3.	Desain awal dimensi fisik antena mikrostrip	56
4.	Dimensi fisik antena mikrostrip yang hasil pengukurannya paling mendekati standar	56
5.	Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran koefisien refleksi (S11)	73
6.	Penentuan kelayakan prototipe untuk GPR	76
7.	Hasil pengukuran perbandingan level sinyal (dB) berdasarkan kedalaman tanah dan air pada frekuensi 1 Ghz	87
8.	Perbandingan perambatan gelombang pada tanah 0,1 m	89
9.	Perbandingan antena mikrostrip Bowtie dan antena mikrostrip Triple rectilinear	91

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Pola radiasi antena	8
2.	Pola radiasi pada koordinat polar	8
3.	Radiasi antena pada bidang <i>elevasi</i> dan <i>azimuth</i>	11
4.	Daerah bidang antena	11
5.	Perubahan tipe pola <i>amplitude</i> antena	12
6.	Polarisasi linear horisontal	14
7.	Polarisasi linear vertikal	14
8.	<i>Left hand polarize</i>	14
9.	<i>Right hand polarize</i>	15
10.	Polarisasi <i>elliptical</i>	15
11.	Parameter S dalam jaringan empat kutub	23
12.	3D dan 2D dari pancaran antena	25
13.	Struktur dasar antena mikrostrip	28
14.	Beberapa model <i>patch</i> untuk mikrostrip antena	29
15.	Struktur mikrostrip <i>line</i>	33
16.	Struktur Mikrostrip <i>line</i> tampak samping	33
17.	Struktur <i>coaxial probe feeding</i>	34
18.	Struktur <i>proximity coupling feed</i>	35
19.	<i>Struktur aperture coupling feed</i>	36
20.	<i>A coaxial-feed RMSA</i>	38

21.	Skema GPR	42
22.	Diagram Alir penelitian	49
23.	Tebal sustrat h	51
24.	Dimensi awal ukuran antena mikrostrip <i>triple rectilinear</i>	55
25.	Desain optimasi antena mikrostrip <i>triple rectilinear</i>	58
26.	Layout antena mikrostrip <i>triple rectilinear</i> dengan AutoCAD	59
27.	Prototipe antena mikrostrip <i>triple rectilinear</i>	61
28.	<i>Network analyzer</i> 5017C	62
29.	Konfigurasi pengukuran antena pada <i>network analyzer</i>	63
30.	<i>Antenna Trainer System</i> ED-3200	64
31.	Konfigurasi Pengukuran port ganda	64
32.	Konfigurasi pengukuran perbandingan level sinyal (dB) berdasarkan kedalaman tanah pada frekuensi 1 Ghz	66
33.	Konfigurasi pengukuran perbandingan level sinyal (dB) berdasarkan kedalaman air pada frekuensi 1 Ghz	67
34.	Koefisien refleksi (S_{11}) perancangan antena mikrostrip <i>Triple Rectilinear</i>	68
35.	Koefisien refleksi (S_{11}) hasil pengukuran antena mikrostrip	69
36.	Perbandingan hasil pengukuran dan hasil simulasi koefisien refleksi (S_{11})	70
37.	VSWR hasil simulasi antena mikrostrip <i>Triple Rectilinear</i>	71
38.	VSWR hasil pengukuran antena mikrostrip <i>Triple Rectilinear</i>	72
39.	Perbandingan hasil pengukuran dan hasil simulasi VSWR	73

40.	<i>Axial Ratio</i> antena Mikrostrip <i>Triple Rectilinear</i> 1 GHz	74
41.	Perbandingan VSWR, S11, <i>Axial Ratio</i> antena Mikrostrip <i>Triple Rectilinear</i>	75
42.	Pola radiasi dua dimensi untuk Antena Mikrostrip pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	77
43.	Fungsi <i>Gain</i> (dB) terhadap sudut elevasi (derajat) <i>frekuensi</i> 1 GHz	78
44.	Fungsi <i>Gain</i> (dB) terhadap sudut azimuth (derajat) <i>frekuensi</i> 4,25 GHz	79
45.	Pola radiasi tiga dimensi untuk Antena Mikrostrip pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	80
46.	Perbandingan pola radiasi elevasi hasil simulasi dan hasil pengukuran pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	81
47.	Perbandingan gain elevasi hasil simulasi dan hasil pengukuran pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	82
48.	Perbandingan pola radiasi azimuthal hasil simulasi dan hasil pengukuran pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	83
49.	Perbandingan gain azimuthal hasil simulasi dan hasil pengukuran pada <i>frekuensi</i> 1 GHz	84
50.	Pengukuran S_{21} pada <i>frekuensi</i> 1 Ghz.	85
51.	Pengukuran S_{21} terhadap tanah pada <i>frekuensi</i> 1 Ghz.	85
52.	Pengukuran S_{21} terhadap air pada <i>frekuensi</i> 1 Ghz	86

53. Grafik perbandingan hasil pengukuran S21, pengukuran S21 terhadap tanah kering, terhadap tanah basah dan air 88
54. Grafik perbandingan delay perambatan gelombang pada tanah terhadap jarak kedalaman tanah pada tanah kering dan tanah basah 90

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Pengukuran koefisien refleksi (S11) dan VSWR	96
2.	Pengukuran S21 antena	97
3.	Pengukuran S21 terhadap tanah dan air tebal 30 cm	98
4.	Pengukuran E-Plane (<i>Elevation Pattern</i>)	99
5.	Pengukuran H-Plane (<i>Azimuth Pattern</i>)	101

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/ Singkatan	Arti dan keterangan
S_{11}, S_{21}	Parameter S yang menggambarkan perbandingan antara intensitas gelombang pantul dengan gelombang datang dari suatu antena
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio, menunjukkan perbandingan tegangan maksimum dan tegangan minimum gelombang berdiri pada saluran transmisi
Axial Ratio	Nilai perbandingan axis mayor dengan axis minor, biasa digunakan untuk merepresentasikan polarisasi suatu antena
Bandwidth	Rentang frekuensi kerja
Gain	Perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan pada suatu circuit
Directivity	Perbandingan intensitas radiasi sebuah antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah
Elevasi	pengarahan vertical antena
Azimut	pengarahan horizontal antena

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan sistem yang sangat berguna untuk proses pendeteksian benda-benda yang berada atau terkubur di dalam tanah dengan kedalaman tertentu tanpa harus menggali tanah (Pramudita dkk., 2007). GPR menggunakan frekuensi 1 GHz untuk mendeteksi benda yang terkubur dalam tanah (Hasan, 2012). GPR memiliki cara kerja yang sama dengan radar konvensional. GPR mengirim pulsa energi antara 10 sampai 1000 MHz ke dalam tanah oleh antena pemancar lalu mengenai suatu lapisan atau objek dengan suatu konstanta dielektrik berbeda selanjutnya pulsa akan dipantulkan kembali dan diterima oleh antena penerima (Pramudita dkk, 2008).

Pada sistem GPR antena pada umumnya diletakkan sangat dekat dengan permukaan tanah. Hal ini menyebabkan karakteristik antena sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah. Karakteristik antena sangat mungkin untuk bervariasi dengan adanya variasi tanah. Analisa teori dan numerik menunjukkan bahwa pembebanan resistif meningkatkan kestabilan impedansi input antena pada beberapa kondisi tanah yang berbeda (Pramudita dkk, 2008).

Kedalaman pengukuran dapat disesuaikan dengan tujuan kegiatannya yaitu dengan mengatur frekuensi gelombang radar yang digunakan. Penggunaan GPR untuk meneliti objek-objek yang terbuat dari logam atau bahan yang mengandung logam (metalik) menggunakan frekuensi antenna sebesar 1 GHz. Frekuensi ini tergolong tinggi sehingga memberikan resolusi yang tinggi pula, tetapi kedalaman penetrasinya terbatas. Untuk frekuensi observasi 1 GHz, objek metallic yang mampu diidentifikasi dengan baik berkedalaman hanya 20 cm hingga 40 cm dengan ketebalan dalam beberapa cm saja. (www.geospasia.com).

Aplikasi GPR dimana waktu atau ruang menjadi perhatian utama, analisis domain waktu menjadi sangat penting, terutama untuk aplikasi GPR, penentuan waktu pantul dan profil *range* dari pencitraan target memerlukan bantuan analisis domain waktu / ruang (Suryana dkk, 2005). Koefisien S_{21} merupakan kuantitas frekuensi domain yang besarnya mengungkapkan jumlah penghubung antara antenna pemancar dan penerima. Koefisien ini didefinisikan sebagai rasio tegangan diukur pada port antenna penerima ke tegangan pada antenna pemancar (Attela dkk, 2007).

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal (*patch*) yang menempel diatas ground plane yang diantaranya terdapat bahan dielektrik. Bidang pada umumnya terbuat dari bahan seperti tembaga atau emas dan dapat mengambil banyak kemungkinan bentuk (Suryono dkk, 2009). Layanan nirkabel yang menggunakan frekuensi tinggi salah satunya adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR).

Dengan adanya *software High Frequency System Simulator* versi 13 (HFSS v13) dapat dirancang dan dilihat parameter dari sebuah antena yang akan dibuat sebelum membangunnya agar lebih mudah di dalam pembuatannya. Beranjak dari hal-hal tersebut di atas, maka akan dirancang Antena Mikrostrip untuk aplikasi *Ground Penetrating Radar* yang bekerja pada frekuensi 1 GHz dengan menggunakan software HFSS v13.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan masalah adalah sebagai berikut yaitu:

1. Bagaimana menentukan beberapa parameter dari antena Mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 1 GHz untuk GPR.
2. Bagaimana mendesain Antena Mikrostrip yang optimal dapat digunakan pada aplikasi GPR sesuai dengan parameter dan karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan *Software* HFSS v13
3. Bagaimana menganalisis dan mengevaluasi parameter S_{11} (pengukuran port tunggal), S_{21} (pengukuran port ganda), VSWR, pola radiasi dan *Axial Ratio* dari hasil simulasi dan pengukuran antena mikrostrip pada frekuensi 1 GHz.

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mendesain antenna mikrostrip *Triple Rectilinear* untuk aplikasi GPR sesuai dengan karakteristik antenna dengan menggunakan *Software High Frequency Structure Simulator 13* (HFSS v13) yang beroperasi pada frekuensi 1 GHz dan mendapatkan karakteristik antenna berupa S_{11} , Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), pola radiasi dan *Axial Ratio*.
2. Mengimplementasikan desain antenna mikrostrip *Triple Rectilinear* ke dalam bentuk fisik dan mengukur S_{11} , S_{21} , VSWR, pola radiasi berdasarkan karakteristik prototipe yang telah dibuat serta menganalisis karakteristik antenna.
3. Melakukan pengukuran S_{21} perambatan gelombang terhadap permitifitas (ϵ_r) pada tanah kering ($\epsilon_r=2,9$), tanah basah ($\epsilon_r=8,1$) dan air($\epsilon_r=80$).

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil karakteristik antenna mikrostrip *Triple Rectilinear* digunakan pada aplikasi GPR frekuensi 1 GHz.

E. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Perancangan desain antena mikrostrip *Triple Rectilinear* yang sesuai dengan parameter dan karakteristik yang bekerja di frekuensi 1 GHz dengan menggunakan software HFSS v13 v13 mendapatkan parameter S_{11} , VSWR, pola radiasi dan axial ratio.
2. Pembuatan prototipe menggunakan bahan dan alat yang tersedia umum dipasaran. Untuk antena mikrostrip menggunakan PCB dengan bahan FR4 Epoxy dan mempunyai ketebalan 1,6 mm.
3. Parameter yang dianalisis dan dievaluasi yaitu S_{11} , VSWR, pola radiasi, *axial ratio* dan S_{21} dari simulasi dan pengukuran desain antena mikrostrip pada frekuensi 1 GHz.
4. Pengukuran pada aplikasi GPR pada tanah dan air dilakukan pada Laboratorium Telematika Universitas Hasanuddin Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Parameter Antena

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori antena secara umum. Diantaranya adalah terminologi antena yang meliputi penjelasan definisi antena dan parameter-parameter antena diantaranya pola radiasi antena, polarisasi *beamwidth*, *bandwidth*, *gain*, *directivity*, impedansi input, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), parameter S, dan permitivitas relatif. Selanjutnya dijelaskan mengenai jenis, karakteristik dan konfigurasi Mikrostrip antena.

Antena adalah suatu piranti yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima gelombang radio atau gelombang elektromagnetik dari dan ke udara bebas. Karena merupakan perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai dengan saluran pencatu (Topalaguna dkk, 2012).

Antena secara umum dibedakan menjadi antena isotropis, antena *omnidirectional*, antena *phased array*, antena optimal dan antena adaptif. Antena isotropis merupakan sumber titik yang memancarkan daya ke segala arah dengan intensitas yang sama seperti permukaan bola. Namun pada kenyataannya, antena ini tidak ada implementasinya, hanya digunakan sebagai antena referensi untuk merancang dan menganalisa

struktur antena yang lebih kompleks. Antena *omnidirectional* adalah antena yang memancarkan daya ke segala arah dan bentuk pola radiasinya digambarkan seperti donat dengan pusat berimpit. Antena *omnidirectional* sering digunakan sebagai pembandingan terhadap antena yang lebih kompleks. Contoh antena ini adalah antena dipole setengah panjang gelombang.

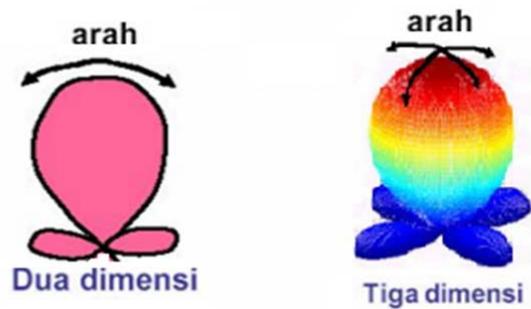
Antena *phased array* merupakan gabungan atau konfigurasi *array* dari beberapa antena sederhana dan menggabungkan sinyal yang menginduksi masing-masing antena tersebut untuk membentuk pola radiasi tertentu pada keluaran *array*. Antena optimal merupakan suatu antena dimana penguatan dan fase relatif setiap elemennya diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan kinerja pada keluaran yang seoptimal mungkin. Optimasi kerja dapat dilakukan dengan menghilangkan atau meminimalkan penerimaan sinyal-sinyal yang tidak dikehendaki. Antena adaptif merupakan pengembangan dari antena *phased array*, dimana arah *gain* maksimum dapat diatur sesuai dengan gerakan dinamis obyek yang dituju (Topalaguna dkk, 2012).

Untuk menggambarkan unjuk kerja suatu antena, sangat penting untuk memahami parameter-parameter antena. Definisi parameter-parameter antena menurut IEEE *Standard Definition of Term for Antenas*, yaitu pola radiasi, polarisasi, *bandwidth*, *gain*, *directivity*, dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR). Parameter lain yang turut menentukan

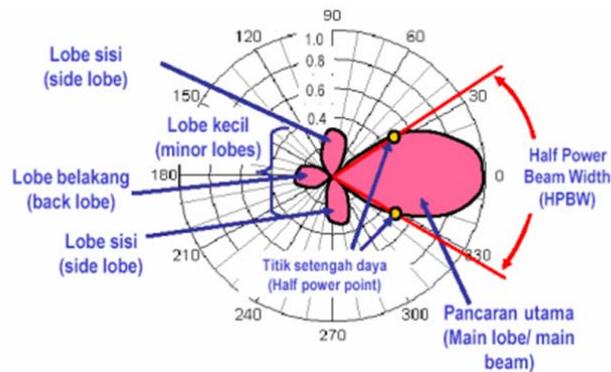
keberhasilan unjuk kerja antenna yaitu koefisien refleksi (S_{11}), efisiensi antenna, intensitas radiasi, rapat daya radiasi, dan *beamwidth*.

1. Pola Radiasi Antena

Pola radiasi merupakan pola pancaran antenna didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi ruang koordinasi atau fungsi koordinat arah (Balanis, 2005). Pola radiasi dapat disebut *field pattern* apabila yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut *power pattern* apabila yang digambarkan adalah *pynting* vector (Topalaguna dkk, 2012).



Gambar 1. Pola radiasi antenna



Gambar 2 Pola radiasi pada koordinat polar

Gambar 2. memperlihatkan pola atau sifat radiasi antenna pada koordinat polar. *Main beam* atau *main lobe* adalah pancaran utama dari pola radiasi suatu antenna. *Minor lobe* adalah pancaran-pancaran kecil selain pancaran utama dari pola radiasi antenna. *Side lobe* adalah pancaran-pancaran kecil yang dekat dengan pancaran utama dari pola radiasi antenna. *Back lobe* adalah pancaran yang letaknya berlawanan dengan pancaran utama dari pola radiasi antenna. Titik setengah daya adalah suatu titik pada pancaran utama yang mempunyai nilai daya separuh dari harga maksimumnya. *Half Power Beam Width* (HPBW) adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi. *Front To Back Ratio* (FTBR) adalah perbandingan antara daya maksimum yang dipancarkan pada *main lobe* dan daya pada *back lobe* (Balanis, 2005).

Nilai *front to back ratio* (FTBR) dapat diketahui dengan membandingkan daya antenna pada saat level penerimaan daya maksimum (pada posisi 0^0 pada *main lobe*) dan pada arah yang berlawanan (pada posisi 180^0 pada *back lobe*). Berdasarkan pola radiasi yang diperoleh, nilai *front to back ratio* dapat dihitung dengan :

$$\frac{F}{B} ratio_{(dB)} = P(0^0)_{dBm} - P(180^0)_{dBm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Nilai *front to back ratio* dalam bentuk dB dapat dikonversi ke dalam satuan Watt (W) dengan rumus (Topalaguna dkk, 2012) :

$$Watt = 10 \log P_{(dB)} \dots\dots\dots (2.2)$$

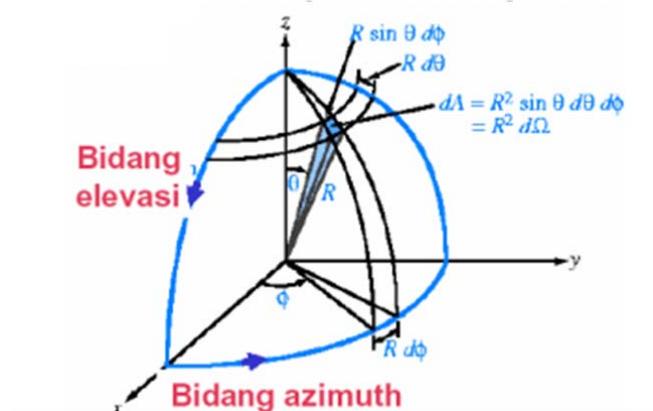
Selain dalam bentuk Watt dan satuan dB, dapat pula dikonversi ke dalam satuan Volt (V) dengan rumus (Topalaguna dkk, 2012) :

$$Volt = 20 \log P_{(dB)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Isotropic radiator merupakan sebuah antena sumber ideal yang memiliki pancaran sama ke segala arah walaupun secara praktik tidak terjadi. Antena *omnidirectional* memiliki pola radiasi yang terlihat mengarah ke segala arah. Antena ini memiliki *gain* yang lebih rendah dibandingkan dengan antena *directional*. Antena *omnidirectional* dapat digunakan sebagai sambungan *Point to Multi Point* (P2MP) karena pola radiasinya yang mengarah ke segala arah, sehingga sangat memungkinkan antena *omnidirectional* mengumpulkan sinyal lain di sekitarnya yang dapat menyebabkan interferensi. Antena *directional* memiliki sifat memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif di beberapa arah tertentu dibanding dengan arah lain. *Gain* antena ini relatif lebih besar dari antena *omnidirectional*. *Beamwidth* antena *directional* lebih sempit dibanding dengan antena lain (Balanis, 2005).

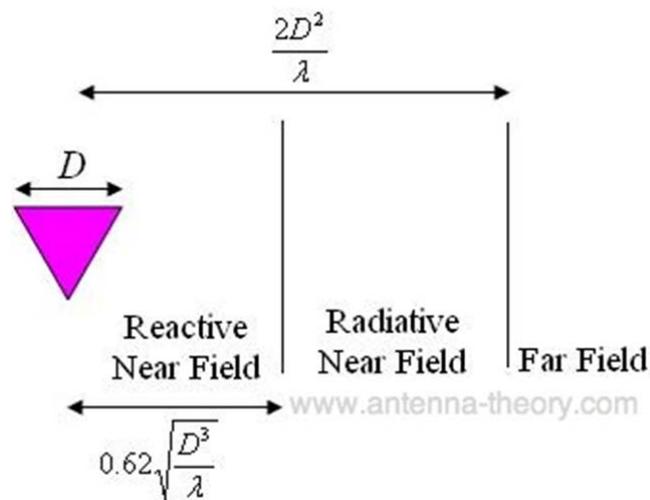
Pola pancaran dapat dengan mudah dipahami dengan menggunakan sistem koordinat bola seperti pada Gambar 3. Bidang xz (*E Plane*) adalah bidang *elevation (orthogonal)* dimana $\Phi=0$ yang merupakan vektor medan listrik dan arah radiasinya maksimum. Sedangkan bidang xy (*H Plane*) adalah bidang *azimuth* yang merupakan vektor medan magnet

dan arah radiasinya maksimum. Radiasi yang maksimum normalnya menghasilkan 2 bidang (Topalaguna, 2012)



Gambar 3. Radiasi antenna pada bidang elevasi dan azimuth (Topalaguna, 2012)

Ruang antara sebuah antenna biasanya dibagi menjadi 3 (tiga) daerah yaitu *reactive near-field*, *radiating near-field (Fresnel)*, dan *far-field (Fraunhofer)*. Daerah ini didesain untuk mengidentifikasi setiap struktur bidang (Balanis, 2005).



Gambar 4. Daerah bidang antenna

Daerah *reactive near-field* adalah daerah dimana benda-benda saling mempengaruhi dengan antenna. Daerah *radiating near-field (Fresnel)* adalah daerah dimana gelombang elektromagnetik belum transversal secara penuh. Daerah *far-field (Fraunhofer)* atau sering juga disebut daerah medan jauh yaitu daerah di mana benda-benda tidak lagi mempengaruhi antenna (merupakan medan elektromagnetik transversal) (Balanis, 2005).

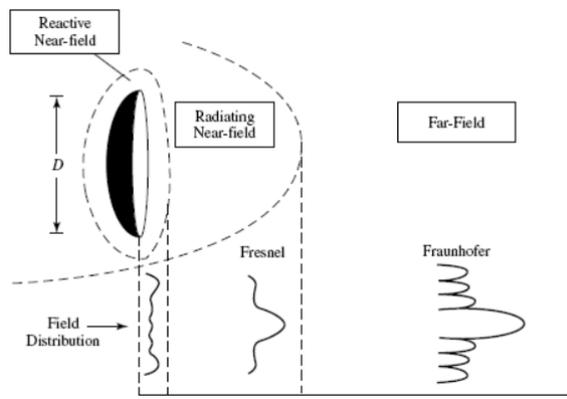
Secara matematis, daerah medan jauh dapat diketahui sebagai berikut :

$$d = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (2.4)$$

d = jari-jari pancaran (daerah medan jauh)

D = panjang antenna

λ = panjang gelombang operasi



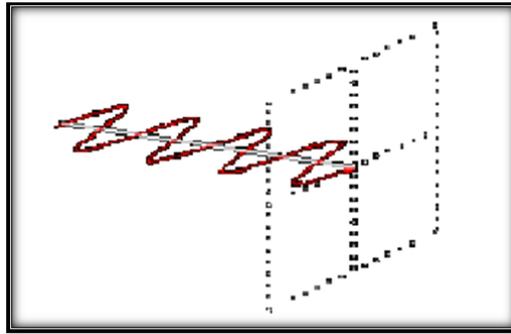
Gambar 5. Perubahan tipe pola amplituda antenna dari *reactive near-field* sampai *far-field* (Balanis, 2005).

2. Polarisasi Antena

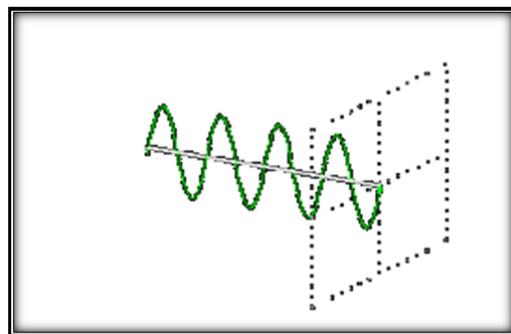
Polarisasi sebuah antena didefinisikan sebagai arah penjalaran dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Polarisasi menggambarkan *magnituda* relatif dari vektor medan listrik (E) sebagai fungsi waktu pada titik tertentu pada suatu bidang perambatan. Ada beberapa jenis polarisasi yang dapat terjadi pada gelombang elektromagnetik. Suatu polarisasi disebut polarisasi vertikal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antena berarah vertikal terhadap permukaan bumi. Sebaliknya, suatu polarisasi disebut polarisasi horizontal jika medan listrik dari gelombang yang dipancarkan antena berarah horizontal terhadap permukaan bumi. Kedua jenis polarisasi tersebut sering disebut polarisasi linier (Topalaguna dkk, 2012).

Namun ada beberapa jenis antena yang polarisasinya bukan polarisasi vertikal maupun polarisasi horizontal karena gelombangnya memiliki vektor medan listrik dimana ujung vektor tersebut seolah-olah berputar membentuk suatu lingkaran ataupun *ellipse* dengan pusat sepanjang sumbu propagasi. Selanjutnya jika perputaran ujung vektor medan yang dipancarkan berbentuk lingkaran maka disebut polarisasi *circular*. Jika vektornya berputar berlawanan arah jarum jam dinamakan *right hand polarize* dan jika vektornya berputar searah jarum jam dinamakan *left hand polarize*. Sedangkan jika perputaran ujung vektor medan yang dipancarkan berbentuk *ellipse* maka dinamakan polarisasi *ellipse* (Topalaguna dkk, 2012).

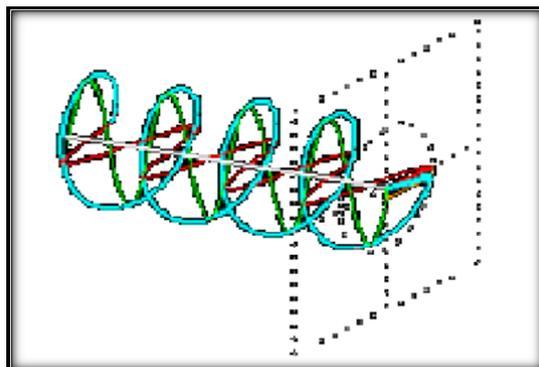
Untuk melihat perbedaan dari beberapa pola radiasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6 sampai dengan Gambar 2.10 berikut (Suryono dkk, 2009).



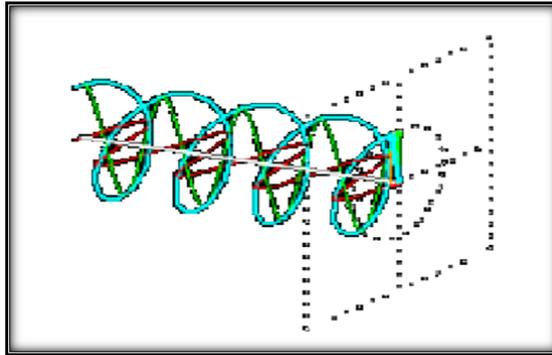
Gambar 6. Polarisasi linier *horizontal*



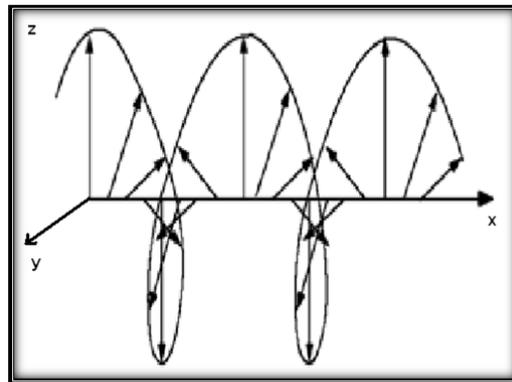
Gambar 7. Polarisasi linier *vertical*



Gambar 8. *Left hand circular polarize*



Gambar 9. *Right hand circular polarize*



Gambar 10. *Polarisasi elliptical*

Agar dapat menerima sinyal yang maksimum, polarisasi antenna penerima harus sama dengan polarisasi antenna pemancar.

3. *Bandwidth*

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai jarak atau rentang frekuensi kerja antenna sesuai dengan beberapa karakteristik standar yang ditentukan. Pada *range* frekuensi tersebut, antenna diusahakan dapat bekerja dengan efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik pada *band* frekuensi tertentu. Distribusi arus

dan impedansi dari antenna pada *range* frekuensi tersebut benar-benar belum mengalami perubahan yang berarti sehingga masih sesuai dengan pola radiasi yang direncanakan dan VSWR yang diijinkan. Secara umum, *bandwidth* dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut (Topalaguna dkk, 2012) :

$$BW = f_H - f_L \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

f_H = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_L = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

Bandwidth dapat pula dinyatakan dalam bentuk persen sebagai berikut (Topalaguna dkk, 2012):

$$BW = \frac{f_H - f_L}{f_H} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk antenna *broadband*, *bandwidth* didefinisikan sebagai rasio frekuensi teratas terhadap frekuensi terbawah dari frekuensi operasinya. Suatu antenna disebut *broadband antenna* apabila $f_H/f_L = 2$. *Bandwidth* dinyatakan oleh beberapa nilai karakteristik antenna seperti impedansi input, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi pancaran berada dalam level yang dapat diterima di sekitar pusat frekuensi.

Persamaan untuk perhitungan *bandwidth* antenna yang dikategorikan *broadband antenna* adalah sebagai berikut :

$$BW_{broadband} = \frac{f_H}{f_L} = 2 \dots\dots\dots (2.7)$$

sedangkan untuk menyatakan *bandwidth narrowband antenna* dalam bentuk persen dapat dihitung sebagai berikut :

$$BW_{\text{narrowband}}(\%) = \left[\frac{f_H - f_L}{\sqrt{f_H f_L}} \right] \times 100 \dots\dots\dots (2.8)$$

4. Gain

Gain antenna didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antenna yang diukur terhadap intensitas radiasi maksimum antenna isotropik sebagai referensi jika kedua antenna tersebut diberi daya yang sama (Balanis, 2005). *Gain* antenna berhubungan erat dengan *directivity* dan faktor efisiensi. Untuk menghitung besarnya *gain* suatu antenna (G_t) yang dibandingkan dengan antenna standar (G_s), dapat dinyatakan secara numerik yaitu berupa perbandingan daya antenna yang diukur (P_t) dengan daya antenna isotropik (P_s) seperti berikut (Topalaguna dkk, 2012) :

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \dots\dots\dots (2.9)$$

dan dapat pula dinyatakan dengan dB sebagai berikut (Topalaguna dkk, 2012) :

$$G_t (dB) = P_t(dBm) - P_s(dBm) + G_s(dB) \dots\dots\dots (2.10)$$

5. Directivity

Directivity didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Direktivitas menggambarkan seberapa banyak suatu antenna memusatkan energinya pada suatu arah dibanding ke arah lain. Jika

efisiensi antena 100%, maka direktivitasnya akan sepadan dengan *gain* dan antena akan menjadi *isotropic radiator*. Bentuk matematisnya dinyatakan sebagai (Topalaguna dkk, 2012) :

$$D = \frac{4\pi}{(\theta_H \cdot \theta_E)} \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

θ_H = sudut pada titik setengah daya bidang H (*radian*)

θ_E = sudut pada titik setengah daya bidang E (*radian*)

Jika arah tidak ditentukan, secara tidak langsung menyatakan arah dari intensitas pancaran maksimum yang dinyatakan (Balanis, 2005).

:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U|_{max}}{U_0} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana,

D = *directivity (dimensionless)*

D_0 = *maximum directivity (dimensionless)*

U = *radiation intensity (W/satuan sudut ruang)*

U_{max} = intensitas pancaran maksimum (W/satuan sudut ruang)

U = intensitas pancaran rata-rata (W/satuan sudut ruang)

P_{rad} = total *radiated power (W)*

Direktivitas adalah suatu kuantitas tanpa ukuran karena rasio dua radiasi intensitas. Direktivitas biasanya dinyatakan dalam dBi. Direktivitas mempresentasikan pengarahannya antena, semakin besar direktivitas dapat diartikan bahwa lebar berkasnya semakin sempit.

6. Impedansi Input

Impedansi input adalah impedansi yang diukur pada titik catu pada terminal antenna yang merupakan perbandingan tegangan dan arus pada titik tersebut. Impedansi input selain ditentukan oleh letak titik catu antenna, juga dipengaruhi oleh antenna lain atau benda-benda yang berada di sekitar antenna serta frekuensi kerjanya. Impedansi input antenna dinyatakan dalam bentuk kompleks yang memiliki bagian *real* dan bagian *imajiner*. Bagian *real* merupakan resistansi masukan (R_{in}) yang menyatakan daya yang diradiasikan oleh antenna pada medan jauh. Sedangkan bagian *imajiner* merupakan reaktansi masukan (X_{in}) yang menyatakan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna (Topalaguna dkk, 2012).

Impedansi input antenna dapat dihitung sebagai berikut (Topalaguna dkk, 2012) :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \dots\dots\dots (2.13)$$

7. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan kemampuan suatu antenna untuk bekerja pada frekuensi yang diinginkan (Topalaguna dkk, 2012). Ketika suatu saluran transmisi diakhiri dengan impedansi yang tidak sesuai dengan karakteristik saluran transmisi, maka tidak semua daya diserap di ujung. Sebagian daya direfleksikan kembali ke saluran transmisi. Sinyal yang masuk bercampur dengan sinyal yang dipantulkan

yang menyebabkan suatu gelombang tegak tegangan mempola di saluran transmisi. Perbandingan tegangan maksimum terhadap tegangan minimum disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

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 praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antena adalah $VSWR \leq 2$. Praktiknya suatu VSWR 1,2 : 1 adalah yang terbaik. Pada VSWR 2,0, kira-kira 10% dari daya dipantulkan kembali ke sumber. Tingginya VSWR tidak hanya berarti daya terbuang, tetapi juga daya yang dipantulkan akan menyebabkan kabel panas atau *amplifier* terlipat.

Untuk dapat beroperasi efisien, pada antena perpindahan maksimum daya harus berlangsung antara pemancar dan antena. Daya maksimum yang ditransferkan dicapai ketika impedansi input antena Z_{in} cocok dengan impedansi antena pemancar, sebagaimana rumusnya :

$$Z_{in} = Z_s \dots\dots\dots (2.14)$$

Jika kondisi ini tidak terjadi, maka akan menyebabkan suatu gelombang berdiri atau VSWR. VSWR pada dasarnya adalah ukuran tidak sepadannya impedansi antara pemancar dan antena. VSWR yang besar berarti besar pula ketidaksepadanannya. Secara matematis VSWR dinyatakan sebagai :

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \dots\dots\dots (2.15)$$

Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_t} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana :

Γ = koefisien refleksi

V_r = amplituda gelombang yang dipantulkan

V_t = amplituda gelombang masuk

Z_{in} = impedansi antena input

Z_s = impedansi antena pemancar

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnituda dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian *imaginer* 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 dalam rangkaian terbuka.

Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match*.

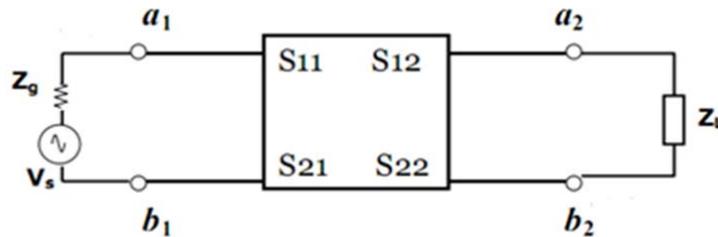
8. Parameter S

Suatu rangkaian mempunyai '*black box*' yang berisikan berbagai komponen elektronika seperti resistor, kapasitor, induktor dan transistor. Untuk mendefinisikan parameter S, perlu ditekankan bahwa keseluruhan jaringan berlaku linier dengan input sinyal kecil. Hal ini berlaku untuk komponen-komponen dalam sistem telekomunikasi seperti *attenuator*, *filter*, *coupler* dan *equalizer* dengan syarat beroperasi dalam kondisi linier.

Pada frekuensi rendah, parameter yang umum dipakai adalah parameter Y atau Z dengan menggunakan nilai-nilai arus dan tegangan yang diukur pada beban terbuka (*open circuit*) atau hubungan singkat (*short circuit*). Pada frekuensi tinggi, parameter tersebut (Y, H, dan Z) sangat sulit diukur karena penggunaan beban terbuka/hubung singkat dapat menyebabkan komponen aktif yang digunakan menjadi tidak stabil (berosilasi). Selain itu, sulit memperoleh beban terbuka/hubung singkat dengan bidang frekuensi yang lebar pada frekuensi tinggi.

Untuk itu, pada frekuensi tinggi parameter yang diukur adalah parameter S (*scattering*) yang menggunakan konsep magnituda dan fasa dari gelombang berjalan (gelombang maju dan gelombang pantul). Parameter S adalah suatu konsep yang penting dalam desain gelombang mikro karena mudah diukur dan bekerja dengan baik pada frekuensi tinggi. Keuntungan pemakaian parameter S berangkat dari kenyataan bahwa gelombang berjalan tidak seperti tegangan dan arus, tidak mengalami variasi magnituda di sepanjang saluran transmisi *lossless*, ini

berarti bahwa parameter S bisa diukur pada suatu jarak tertentu dengan asumsi saluran transmisi mempunyai rugi-rugi yang kecil. Parameter S dalam jaringan 2 (dua) *port* (4 kutub) dapat dilihat pada Gambar.11.



Gambar 11. Parameter S dalam jaringan empat kutub

Koefisien pantul tegangan pada *port* input Γ_{in} ekuivalen dengan S_{11} . VSWR pada suatu *port* berkaitan dengan *magnituda* dari koefisien pantul, dengan hubungan :

$$\Gamma_{in} = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \dots\dots\dots (2.17)$$

Koefisien refleksi S_{11} bisa diplot dalam *smith chart*, dikonversi ke impedansi dan dengan mudah bisa dimanipulasi untuk menentukan rangkaian penyesuai impedansi untuk optimasi dalam desain rangkaian. Nilai VSWR memiliki korelasi dengan nilai koefisien refleksi (S_{11}). Untuk melihat hubungan tersebut dapat diperhatikan persamaan berikut :

$$S_{11} = 20 \log \left[\frac{1 - VSWR}{1 + VSWR} \right] \dots\dots\dots (2.18)$$

9. Radiation Intensity

Radiation intensity didefinisikan sebagai daya yang dipancarkan dari sebuah antena per satuan sudut ruang. *Radiation intensity* merupakan parameter *far-field* dan dapat dihasilkan dari mengalikan *radiation density* dengan kuadrat jarak (Balanis, 2005). Secara matematis diekspresikan sebagai (Balanis, 2005). :

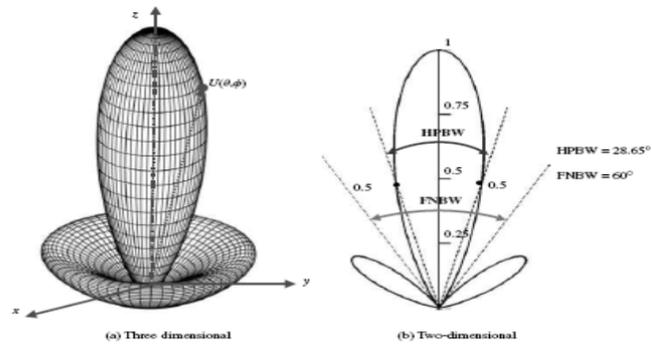
$$U = r^2 W_{rad} \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana, U = *radiation intensity* (W/satuan sudut ruang)

$$W_{rad} = \text{radiation density (W/m}^2\text{)}$$

10. Beamwidth

Beamwidth didefinisikan sebagai kumpulan dari pancaran sebuah antena. *Beamwidth* dari sebuah pancaran adalah sudut pemisahan antara 2 (dua) titik yang berlawanan sisi dari pancaran maksimum. Pada antena terdapat beberapa *beamwidth*. Salah satu *beamwidth* yang paling lebar disebut *Half-Power Beamwidth* (HPBW). Sedangkan yang satunya adalah sudut pemisahan antara *nulls* pertama dari pancaran yang disebut *First-Null Beamwidth* (FNBW). Dalam prakteknya istilah *beamwidth* biasanya ditujukan pada HPBW (Balanis, 2005).



Gambar 12. 3D dan 2D dari pancaran antenna (Balanis, 2005).

11. Permittivitas Relatif

Permittivitas relatif atau konstanta dielektrik adalah sebuah konstanta yang melambangkan rapatnya fluks elektrostatis dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Konstanta dielektrik merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial relatif terhadap ruang hampa. Konstanta dielektrik dilambangkan dengan huruf Yunani ϵ_r atau kadang-kadang κ , K , atau D_k . Secara matematis konstanta dielektrik suatu bahan didefinisikan sebagai :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana, ϵ_r = permitivitas relatif atau konstanta dielektrik

ϵ = permitivitas suatu bahan

ϵ_0 = permitivitas vakum = $8,854 \cdot 10^{-12}$ Farad/m

Pada Tabel 1. ditunjukkan beberapa bahan dielektrik yang disediakan dalam *software* Ansoft HFSS v13 yang biasanya digunakan sebagai substrat.

Tabel 1. Daftar beberapa material dan permitivitas relatif

Material	Permitivitas Relatif
Udara	1
Copper	1
RT/Duroid TM 5880	2,2
FR4-Epoxy	4,4
Mica	5,7
PEC	1
Alumina_96pct	9,4
Silicon	11,9
Gallium Arsenide	12,9
Roger 3210	10,2

FR-4 adalah singkatan dari *Flame Retardant 4*, merupakan jenis bahan yang paling banyak digunakan untuk membuat *Printed Circuit Board* (PCB). Harga FR4-Epoxy yang murah dan memiliki sifat mekanik yang baik membuatnya sering digunakan untuk produksi massal produk-produk konsumen elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antena. FR4 memiliki parameter standar dan nilai-nilai umum yang dikenal seperti pada Tabel 2. di bawah ini

Tabel 2. Parameter umum FR4*

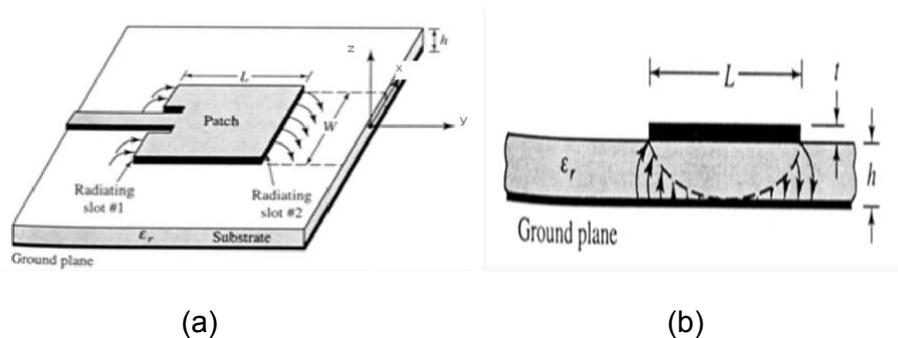
Relative Permittivity	3.9 to 4.8
Dielectric Breakdown	39kV/mm
Water Absorption	<1.3%
Dissipation Factor	0.022
Thermal Expansion	16-19ppm/degC

*nilai ini bisa bervariasi untuk setiap pihak manufaktur.

Bahan dielektrik lain yang sering dipakai adalah RT/Duroid™ 5880 dengan permitivitas relatif 2.2, dan *loss tangent* 0.0012. Material ini dapat memberikan *bandwidth* yang besar karena permitivitas relatifnya yang rendah.

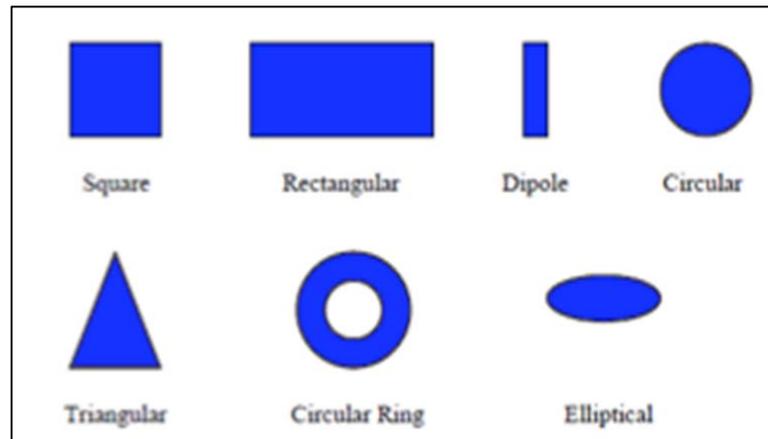
B. Antena Mikrostrip

Konsep mengenai Mikrostrip antena pertama kali diusulkan oleh Deschamps pada tahun 1953. Namun mulai diimplementasikan dan dikembangkan oleh Munson dan Howell pada tahun 1970. Struktur dasar dari sebuah Mikrostrip antena dapat dilihat pada Gambar 13 berikut (Balanis, 2005). :



Gambar 13. Struktur dasar Mikrostrip antena
(a) tampak atas
(b) tampak samping

Pada Gambar 13 di atas dapat diperhatikan struktur dasar dari sebuah Mikrostrip antena yaitu potongan (*patch*) logam yang biasanya terbuat dari tembaga yang dicetak tipis pada dasar dielektrik yang ditanahkan. *Patch* sebagai pelat yang meradiasikan daya dari sebuah *dielectric*. *Ground plane* dan *patch* dihubungkan oleh sebuah *center conductor* yang biasanya terbuat dari bahan tembaga. Bentuk Mikrostrip antena bermacam-macam, umumnya digunakan *rectangular* dan *circular* karena lebih mudah dianalisis.



Gambar 14. Beberapa model *patch* untuk Mikrostrip antenna.

Mikrostrip antenna banyak digunakan pada link komunikasi antara kapal dengan sistem satelitnya (untuk sistem navigasi), *Global System for Mobile Communication* (GSM), *domestic direct broadcast TV*, *telemetry*, Radar, dan paling banyak digunakan yaitu pada *Global Positioning System* (GPS).

1. Karakteristik antenna mikrostrip

Mikrostrip antenna telah terbukti sebagai radiator yang sangat baik untuk berbagai macam aplikasi karena beberapa kelebihan yang dimilikinya. Mikrostrip antenna memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan antenna *microwave* biasanya. Kelebihan tersebut mencakup :

- a. Dimensi kecil dan konfigurasi yang *low profile* dibandingkan struktur antenna yang lain.
- b. Kemudahan mengintegrasikan dengan *Microwave Integrate Circuit* (MIC) yang lain pada substrat yang sama.
- c. Efisiensi.

- d. Dapat dibuat pelat yang digunakan untuk *personal mobile communication*.
- e. Dapat beroperasi pada *multiband* frekuensi.

Selain kelebihan-kelebihan yang dimiliki, Mikrostrip antenna juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu :

- a. *Bandwidth* yang dihasilkan relatif lebih sempit dibandingkan antenna konvensional. Saat ini dilakukan penelitian untuk peningkatan *bandwidth* Mikrostrip antenna dari *narrow bandwidth* menjadi *broad bandwidth*. *Bandwidth* dapat ditingkatkan dengan menggunakan tebal substrat yang konstanta dielektriknya rendah. Cara lain adalah dengan menggunakan teknik *feeding* yang sesuai dengan model desain yang dibuat.
- b. *Gain* yang dihasilkan lebih kecil.
- c. Kemampuan penanganan kehandalan yang rendah.
- d. Kemurnian polarisasi sulit dicapai.

Unjuk kerja dari sebuah Mikrostrip antenna ditentukan oleh ukuran *patch* dan tebal dielektrik. Ukuran dari dielektrik sangat kecil sebanding dengan panjang gelombang. Oleh karena itu, *patch* antenna ditujukan untuk dua hal, yaitu untuk distribusi arus dan tegangan pada *patch*, serta kemampuan meradiasikan gelombang elektromagnetik. Apabila panjang Mikrostrip antenna sebesar setengah panjang gelombang dari bahan, diasumsikan medan listrik pada sisi input sepanjang W positif mengarah dari *ground plane* ke *conductor*, maka pada sisi ujung yang lain medan listrik

akan mengarah sebaliknya, yaitu dari *conductor* ke *ground plane*. Sehingga kedua komponen vertikal dari kedua medan listrik akan saling menghilangkan, sedangkan komponen horizontal akan berubah secara kontinu setelah melewati *conductor* sepanjang L dan ini akan dirasakan sebagai radiasi di medan jauh. Medan listrik yang menyebar dari kedua sisi Mikrostrip antenna ke udara bebas disebut sebagai medan limpahan (*fringing field*).

Pada dasarnya setiap elemen dari Mikrostrip antenna berpengaruh terhadap unjuk kerja Mikrostrip antenna secara keseluruhan. Misalnya, pengaruh tinggi h dan permitivitas relatif ϵ_r dari substrat, adalah sebagai berikut :

- a. Naiknya h substrat dielektrik akan meningkatkan medan-medan limpahan di sepanjang tepi. Hal ini mengakibatkan perpanjangan panjang efektif L_{eff} sehingga frekuensi resonansi berkurang.
- b. *Bandwidth* dari Mikrostrip antenna meningkat seiring dengan meningkatnya ketebalan substrat h atau dengan menurunnya konstanta dielektrik ϵ_r .
- c. *Directivity* antenna meningkat karena daerah *effective aperture* meningkat, kaitannya dengan ΔL .
- d. Secara umum, awalnya efisiensi antenna naik dengan naiknya ketebalan substrat karena meningkatnya daya yang dipancarkan antenna (*radiated power*). Namun setelah itu, akan mulai menurun

karena *cross-polar level* yang tinggi dan terjadi eksitasi *surface wave*.

Panjang Mikrostrip antenna L harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka *bandwidth* akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang *bandwidth* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari Mikrostrip antenna W impedansi input juga akan berubah. Semakin lebar W, impedansi input berkurang.

Dalam prakteknya, ukuran dari *ground plane* terbatas (*finite ground plane*). Ukuran dari *ground plane* ini dibatasi untuk mengurangi kompleksitas dalam proses komputasi numeriknya. Pola radiasi dari *Rectangular* Mikrostrip antenna (RMSA) dengan *finite ground plane* tidak terhindarkan dari efek *back lobe*, sebaliknya pada *infinite ground plane* tidak terdapat *back lobe*.

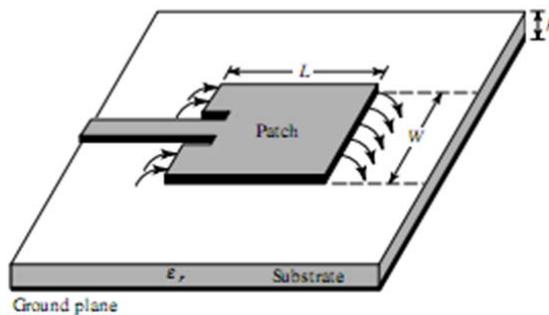
2. Teknik Feeding

Dalam perancangan Mikrostrip antenna (MSA) dikenal beberapa teknik *feeding* yang berbeda disertai kelebihan dan kekurangannya masing-masing (Balanis, 2005).. Teknik *feeding* mempengaruhi impedansi input dan karakteristik antenna. Oleh karena itu teknik *feeding* tidak pernah terlepas dari proses perancangan dan desain parameter Mikrostrip antenna (MSA).

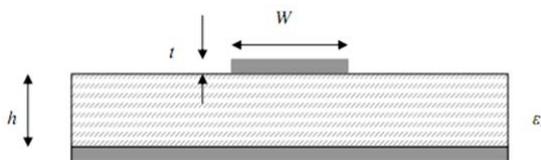
Secara umum terdapat 4 (empat) teknik *feeding* yang populer digunakan yaitu *mikrostripline*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling* (Balanis, 2005). *Mikrostripline* dan *coaxial probe*

biasanya disebut *direct feeding*, sedangkan *aperture coupling* dan *proximity coupling* biasanya disebut *indirect feeding*.

Mikrostripfeed line berupa pelat pengantar yang secara sekilas seperti bagian dari *radiating patch* karena letaknya yang langsung di-*couple* dengan *patch*, hanya saja memiliki lebar yang sangat kecil dibanding *patch*. Struktur *mikrostripline* seperti pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16 :



Gambar 15. Struktur *Mikrostrip Line* (Balanis, 2005).

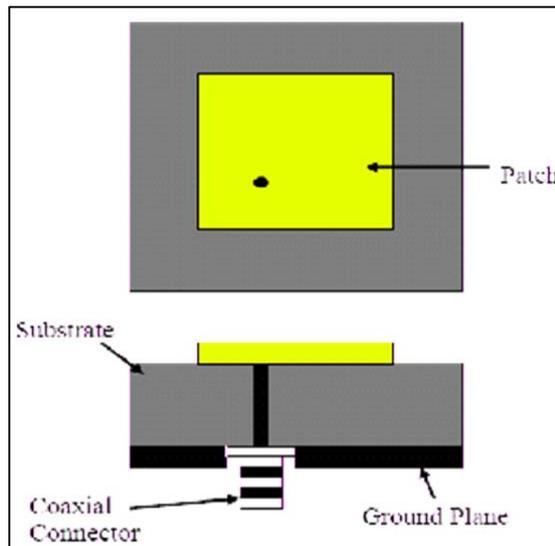


Gambar 16. Struktur *MikrostripLine* tampak samping

Mikrostripline mudah dalam proses fabrikasinya dan tidak terlalu rumit untuk mengintegrasikannya dalam struktur desain (Balanis, 2005). Sedangkan kekurangannya adalah jika tinjau dari aspek radiasi *feed line*. Struktur *mikrostripline* yang langsung ter-*couple* dengan patch dapat menimbulkan *cross polarisasi* sehingga dapat mengacaukan radiasi medan listrik dan medan magnet ke *radiating patch*. Selain itu, untuk

daerah frekuensi dengan panjang gelombang millimeter, ukuran *feed line* dapat sebanding dengan ukuran *patch*.

Coaxial probe atau *coaxial line feed* tersusun seperti pada Gambar 2.17:



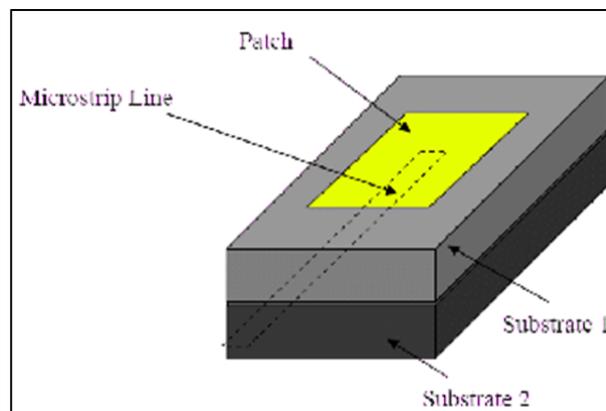
Gambar 17. Struktur *coaxial probe feeding*

Pada Gambar 17. di atas dapat dilihat struktur *coaxial probe feeding* tampak atas dan tampak sampingnya. *Coaxial probe* adalah teknik *feeding* yang paling banyak digunakan. *Center conductor* dari konektor *coaxial* disolder langsung ke bagian *patch* melewati substrat dengan bagian luarnya terhubung ke *ground plane*.

Kelebihan *coaxial probe* adalah kemudahan dalam proses fabrikasinya dibandingkan teknik *feeding* yang lain. Selain itu fleksibilitas penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching*

impedansi inputnya. Namun kelemahannya adalah *coaxial probe* dihubungkan ke substrat dengan membuat *hole* atau lubang pada *ground plane* sehingga struktur yang demikian dapat menjadikan konfigurasi tidak planar. Selain itu *coaxial probe* dapat menyebabkan impedansi input lebih induktif seiring pertambahan panjang *probe*.

Seperti disebutkan di atas bahwa selain teknik *direct feeding*, terdapat pula teknik *indirect feeding* yakni *proximity coupling* dan *aperture coupling*. *Proximity coupling* dibuat dengan menempatkan *feed line* antara dua medium *dielectric* yaitu antara *patch* dengan *ground plane* seperti diperlihatkan pada Gambar 18. :

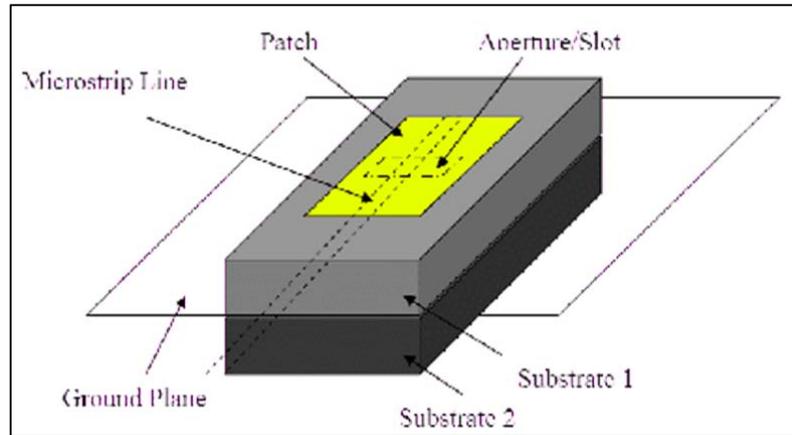


Gambar 18. Struktur *proximity coupling feed*

Seperti terlihat pada gambar 18 bahwa teknik *feeding proximity coupling* tersusun atas dua layer, satu layer untuk *patch* dan layer yang lain untuk *feed line*. Teknik ini memberikan peningkatan performansi yaitu meningkatkan lebar *bandwidth*. Akan tetapi membutuhkan ketelitian

penyesuaian kedua layernya agar tepat berada pada koordinat yang sama.

Metode yang keempat adalah *aperture coupling* seperti pada gambar 19 :



Gambar 19. Struktur *aperture coupling feed*

Aperture coupling adalah teknik *feeding* yang paling sulit dalam proses fabrikasi dan tergolong *narrow bandwidth* (Balanis, 2005).. *Field* dihubungkan dari *mikrostripline feed* ke *radiating patch* melalui *hole* atau semacam *slot cut* pada *ground plane*. *Coupling aperture* biasanya diletakkan pada pertengahan di bawah *patch* sehingga *cross polarisasi* dapat dihindari.

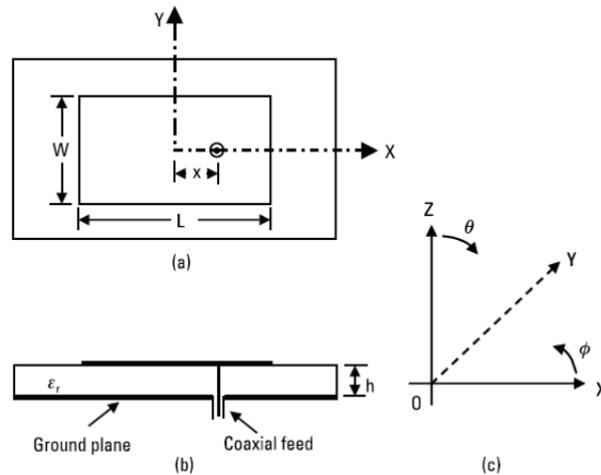
Dari keempat teknik *feeding* di atas, teknik yang dapat menghasilkan *bandwidth* paling lebar adalah *proximity coupling* yaitu sekitar 13% lebih lebar. Akan tetapi kesulitannya adalah pada tahap fabrikasinya. Sedangkan *coaxial probe* mudah dalam proses fabrikasinya

dan fleksibel penempatannya pada *patch*, dimana *coaxial probe* dapat ditempatkan di setiap titik di dalam *patch* untuk memperoleh kesesuaian atau *matching* impedansi inputnya.

3. Konfigurasi antena mikrostrip

Seperti yang disebutkan sebelumnya, keterbatasan dari MSA adalah *bandwidth*-nya yang kecil. *Bandwidth* dapat ditentukan dari hubungannya dengan VSWR atau perbedaan impedansi input dengan frekuensi atau berhubungan dengan parameter pancaran. *Bandwidth* yang besar disebabkan oleh penurunan *quality factor Q* dari *patch resonator*, dimana berkaitan dengan kurangnya energi yang tersimpan di bawah *patch* dan radiasi lebih tinggi. Untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar, bentuk *patch* yang biasa dimodifikasi ke dalam beberapa bentuk MSA. Berbagai jenis konfigurasi MSA tersebut yaitu, *Rectangular* Mikrostrip antena (RMSA), *planar multiresonator broadband* Mikrostrip antenas, *multilayer broadband* Mikrostrip antenas, *staked multiresonator* Mikrostrip antenas, *compact broadband* Mikrostrip antenas, *tunable and dual band* Mikrostrip antenas, dan *broadband circularly polarized* Mikrostrip antenas.

Salah satu bentuk yang sederhana dan banyak digunakan pada konfigurasi Mikrostrip antena adalah *Rectangular* Mikrostrip antena (RMSA).



Gambar 20. A coaxial-feed RMSA : (a). Tampak atas (b). Tampak samping (c). Sistem koordinat

Rectangular patch ditentukan dengan panjang L dan lebar W . Untuk *mikrostripline* yang sederhana, lebarnya lebih kecil daripada panjang gelombang. Bagaimanapun, lebar RMSA sebanding dengan panjang gelombang untuk meningkatkan radiasi dari tepinya. Karena tebal substrat lebih kecil dari panjang gelombang, RMSA dianggap sebagai bentuk *two-dimensional planar* untuk analisis.

Untuk mencari dimensi Mikrostrip antenna, harus diketahui terlebih dahulu parameter bahan yang akan digunakan yaitu resonansi frekuensi (f_0), tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), dimensi *patch* (W dan L), dan impedansi input. Panjang Mikrostrip antenna harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka *bandwidth* akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang *bandwidth* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari Mikrostrip antenna (W) impedansi input juga akan berubah. Persamaan matematis yang

digunakan untuk menentukan dimensi antenna tersebut adalah sebagai berikut :

- Tebal substrak minimum

$$h \leq \frac{0,3c}{2\pi f c \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.21)$$

- Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}), dari persamaan diatas memberikan konstanta dielektrik efektif sebagai :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.22)$$

- Panjang *patch* (L) diberikan sebagai :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan panjang *efektif* (L_{eff})

$$L_{eff} = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots (2.24)$$

dan panjang tambahan (ΔL)

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \dots\dots\dots (2.25)$$

- Lebar (W) *mikrostrip patch antenna* diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}} \dots\dots\dots (2.26)$$

- Lebar Groundplane (W_g) dan panjangnya (L_g) didapatkan oleh persamaan sebagai berikut (A.B. Mutiara, 2011)

$$W_g = 6h + W \dots\dots\dots (2.27)$$

$$L_g = 6h + L \dots\dots\dots (2.28)$$

- Sedangkan untuk menentukan titik letak *coaxial feed* (X_f , Y_f), didapatkan oleh persamaan sebagai berikut (A.B. Mutiara, 2011)

$$Y_f = \frac{W}{2} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$X_f = \frac{L}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots (2.30)$$

dimana,

$$c = 3.10^8 \text{ m/s}$$

$$f = \text{resonansi frekuensi (Hz)}$$

$$\epsilon_r = \text{relative permittivity atau konstanta dielektrik}$$

$$\epsilon_{reff} = \text{konstanta dielektrik efektif}$$

$$h = \text{tinggi substrat (mm)}$$

$$W = \text{lebar patch (mm)}$$

$$L = \text{panjang patch (mm)}$$

$$W_g = \text{lebar ground (mm)}$$

$$L_g = \text{panjang ground (mm)}$$

$$L_{eff} = \text{panjang efektif patch (mm)}$$

$$\Delta L = \text{panjang tambahan patch (mm)}$$

C. Ground Penetrating Radar (GPR)

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses deteksi benda – benda yang terkubur di bawah tanah dengan tingkat kedalaman tertentu, dengan menggunakan gelombang radio, biasanya dalam range 10 MHz sampai 1GHz (A. Adya Pramudita dkk, 2008).

Seperti pada sistem radar pada umumnya, sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), yaitu antena yang terhubung ke sumber pulsa, dan bagian penerima (*receiver*), yaitu antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal dan citra (G.E. Attela dkk, 2007). Adapun dalam menentukan tipe antena yang digunakan, sinyal yang ditransmisikan dan metode pengolahan sinyal tergantung pada beberapa hal, yaitu:

- a. Jenis objek yang akan dideteksi
- b. Kedalaman Objek, dan
- c. Karakteristik elektrik medium tanah

Dari proses pendeteksian seperti di atas, maka akan didapatkan suatu citra dari letak dan bentuk objek yang terletak di bawah tanah. Untuk menghasilkan pendeteksian yang baik, suatu sistem GPR harus memenuhi empat persyaratan sebagai berikut :

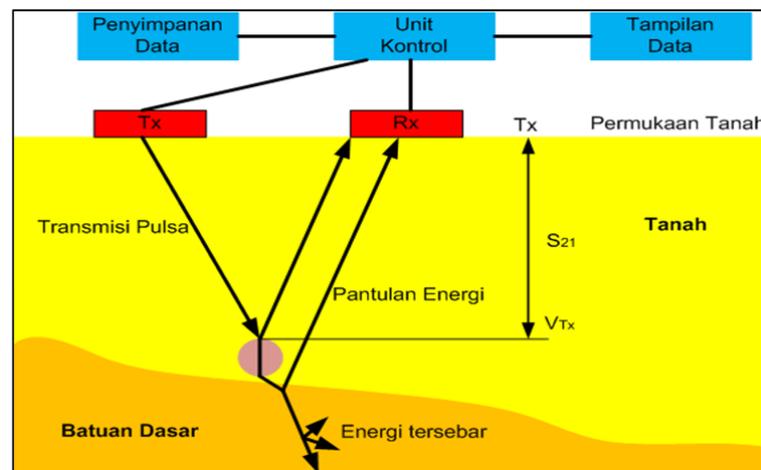
- a. Kopling radiasi yang efisien ke dalam tanah,
- b. Penetrasi gelombang elektromagnetik yang efisien,
- c. Menghasilkan sinyal dengan amplitude yang besar dari objek yang dideteksi,

d. *Bandwidth* yang cukup untuk menghasilkan resolusi yang baik.

GPR juga memiliki cara kerja yang sama dengan radar konvensional. GPR mengirim pulsa energy antara 10 sampai 1000 MHz ke dalam tanah dari suatu antena, dan kemudian merekam pemantulannya dalam waktu yang sangat singkat (Yulius dkk, 2005).

Pada saat ini GPR digunakan didalam suatu cakupan luas aplikasi sebagai alat pendeteksi objek yang terkubur dibawah tanah. Banyak aplikasi komersial yang menggunakan GPR meliputi aplikasi di bidang teknik sipil, geofisika, arkeologi, teknologi rancang bangun dan teknologi militer (Pramudita dkk, 2007).

D. Prinsip Dasar GPR



Gambar 21. Skema GPR.

Jika suatu pulsa GPR mengenai suatu lapisan atau objek dengan suatu konstanta dielektrik berbeda, pulsa akan dipantulkan kembali,

diterima oleh antenna receiver, waktu dan besar pulsa direkam, seperti ditunjukkan pada gambar 21. Pada banyak kasus, antenna *transmitter* dan antenna *receiver* adalah sama.(Yulius dkk, 2005).

Walaupun GPR beroperasi sama seperti sistem radar konvensional pada umumnya, dalam artian bahwa ia mengirimkan gelombang elektromagnetik dan menerima radar yang kembali, yang kemudian diproses untuk melihat target. Namun demikian, GPR dikarakterisasi oleh tiga prinsip mendasar yang membedakannya dari sistem radar konvensional.

Pertama, bandwidth operasi dari GPR diletakan pada frekuensi rendah untuk mendapatkan kedalaman penetrasi yang memadai ke dalam tanah. Kenyataannya, kedalaman penetrasi dari sinyal yang dipancarkan, pada umumnya sangat terbatas sesuai dengan panjang gelombangnya. Di sisi lain, radar harus mampu menyediakan resolusi *down-range* yang memadai, untuk itu *bandwidth* operasi diperlukan bandwidth operasi puluhan sampai ratusan megahertz. *Bandwidth* operasi ini sesuai dengan frekuensi tengah radar, yang menyebabkan *bandwidth* relatif (*rasio bandwidth* terhadap frekuensi tengah) mendekati satu atau terkadang lebih besar. Ini berarti GPR bersifat ultra *wideband* dan berbeda dengan sistem radar konvensional, yang beroperasi pada band frekuensi yang lebih tinggi.

Antara kedalaman penetrasi dan resolusi harus selalu dilakukan, penetrasi yang lebih dalam dapat dicapai dengan menggunakan frekuensi

yang lebih rendah namun dengan resolusi down-range yang lebih rendah pula.

Kedua, tidak seperti sistem radar konvensional GPR beroperasi di dekat permukaan tanah. Ini berakibat kekasaran dari permukaan tanah dan ketidakhomogenan tanah dapat meningkatkan *clutter*. Dalam banyak kasus pengguna GPR dengan terpaksa harus melakukan *image processing* tingkat lanjut untuk membedakan target dari *clutter*.

Ketiga, kebanyakan GPR merupakan sistem radar jarak dekat (short-range). Pada kondisi ini target biasanya terletak di daerah medan dekat atau medan menengah sehingga karakteristik medan dekat antena menjadi sangat penting. Ini sangat berbeda dengan radar konvensional, yang beroperasi pada medan jauh.

Impedansi input antena adalah kuantitas frekuensi domain yang diukur, pertama untuk menghitung arus yang mengalir di lengan antena pada feed point dan kemudian membagi tegangan pada saat menghitung arus, baik dalam domain frekuensi. Menghitung arus menggunakan hukum ampere (Attala dkk, 2007).

Koefisien S_{21} merupakan kuantitas frekuensi domain yang besarnya mengungkapkan jumlah penghubung antara antena pemancar dan penerima. Koefisien ini didefinisikan sebagai rasio tegangan diukur pada port antena penerima ke tegangan pada antena pemancar (Attala dkk, 2007).

Pada system GPR antenna pada umumnya diletakkan sangat dekat dengan permukaan tanah. Hal ini menyebabkan karakteristik antenna sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah. Karakteristik antenna sangat mungkin untuk bervariasi dengan adanya variasi tanah. Analisa teori dan numeric menunjukkan bahwa pembebanan resistif meningkatkan kestabilan impedansi input antenna pada beberapa kondisi tanah yang berbeda (Pramudita dkk, 2008).

Kedalaman pengukuran dapat disesuaikan dengan tujuan kegiatannya yaitu dengan mengatur frekuensi gelombang radar yang digunakan (www.geospasia.com). Contoh penggunaan frekuensi tertentu untuk mencapai kedalaman tertentu adalah sebagai berikut :

- Penggunaan frekuensi 1000 MHz, untuk kedalaman eksplorasi maksimum hingga 0,2 – 0,4 m
- Penggunaan frekuensi 900 MHz, untuk kedalaman eksplorasi maksimum hingga 1,5 m
- Penggunaan frekuensi 200 MHz untuk kedalaman eksplorasi maksimum hingga 9 m
- Penggunaan frekuensi 80 MHz - 16 MHz untuk kedalaman eksplorasi antara 10 m hingga 30 m

E. Roadmap Penelitian

- i. **“Hexagonal Monopole strip Antenna with Rectangular Slot for 100-1000 MHz SFCW GPR Applications”** A. Adya Pramudita, A. Kurniawan, A. Bayu Suksmono; Internasional Journal of Antennas and Propagasi, Vol 2008, Bandung, Indonesia, 2008.

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada bentuk dan frekuensi antena dengan rectangular slot pada frekuensi 100-1000 MHz untuk Ground Penetrating Radar.

- ii. **“Analisa Teori dan Numerik Pengaruh Pembebanan Resistif terhadap Kestabilan Impedansi Input Antena GPR di atas Permukaan Tanah”**, A. Adya Pramudita, A. Kurniawan , A. Bayu Suksmono, A. Andaya Lestari; Jurnal Elektronika, Unika Atmajaya, Jakarta, Indonesia, 2008.

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada pengaruh pembebanan resistif terhadap impedansi input antenna modified dipole yang dikaji secara analisa teori dan analisa numerik. Analisa teori dan numerik menunjukkan bahwa beban resistif yang diletakkan pada ujung lengan-lengan modified dipole meningkatkan stabilitas impedansi input antena pada kondisi tanah yang berbeda.

- iii. **“Wideband Partially-Covered Bowtie Antenna For Ground-Penetrating-Radars”** G.E. Attela and A.A.Shaalan Communications and Electronics Department, Faculty of Engineering, Zagazig University, Egypt, 2007.

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada desain antena *bowtie* untuk Ground Penetrating Radar terhadap tanah kering dan tanah basah pada frekuensi 800 MHz.

- iv. ***“The Use of Ground Penetrating Radar With a Frequency 1 GHz to Detect Water Leaks From Pipelines”***, Alaa Ezzat Hasan Turkey: Sixteenth International Water Tecnology Conference. 2012.

Pada penelitian diatas dititik beratkan pada GPR dengan frekuensi 1GHz untuk mendeteksi kebocoran pada pipa air di dalam tanah. (Hasan, 2012).

Berdasarkan roadmap penelitian yang ada maka penulis mengambil penelitian lebih dikhususkan kepada bagaimana mendesain Antena Mikrostrip *Triple Rectalinear* yang optimal dapat digunakan pada aplikasi GPR pada frekuensi 1 GHz sesuai dengan parameter dan karakteristik yang diinginkan dengan menggunakan *Software* HFSS v13.