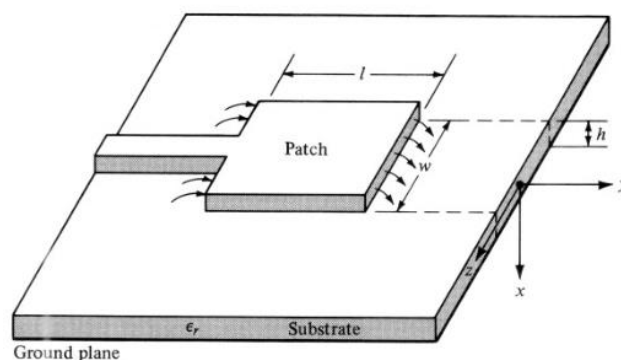


## II.3 Teori Pendukung

Antena merupakan suatu peranti yang digunakan untuk merambatkan dan menerima gelombang radio atau elektromagnetik. Antena juga sering diartikan sebagai perantara dua media yaitu sebagai penyesuai sifat gelombang elektromagnetik yang ada di ruang bebas dan yang ada pada saluran transmisi atau biasa disebut sebagai *matching network*. Selain berfungsi sebagai *matching network* antena juga berfungsi sebagai penyearah gelombang elektromagnetik ke arah yang dibutuhkan atau disebut sebagai fungsi *directional device*. Berikut akan dijelaskan tentang antena mikrostrip, antena dengan *patch* persegi, teknik pecatuan *coaxial probe*, material dielektrik artifisial, mode gelombang dan teknologi pendukung yang digunakan.

### II.3.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip yang dikenal juga sebagai antena *patch* atau antena *printed* merupakan dua lempengan konduktor tipis yang diletakan diantara bahan isolator (*substrate*). Konsep dasar tentang antena mikrostrip pertama kali diusulkan oleh *Deschamps* pada tahun 1953 dan mendapatkan hak paten pada tahun 1955. Antena mikrostrip merupakan antena yang tersusun atas 4 elemen yaitu elemen peradiasi (*patch*), elemen substrat (*substrate*), elemen pencatu (*feed*) dan elemen petanahan (*groundplane*) [9].



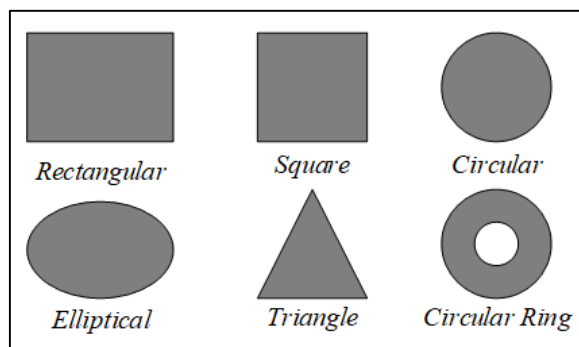
Gambar 0.1 Konstruksi antena mikrostrip [2]

Antena ini dapat menghasilkan polarisasi yang linear maupun sirkular dengan kelemahan efisiensi yang rendah dengan *bandwidth* yang sempit yaitu berkisar 1-5% dari frekuensi resonansi. Gambar 0.1 menjelaskan bahwa mikrostrip terdiri dari lapisan konduktor yang sangat tipis ( $t \ll \lambda_0$ ) biasa disebut dengan *patch*.

*Patch* dan *ground plane* ini dipisahkan oleh lembaran dielektrik yang disebut dengan substrat dengan jarak  $h \ll \lambda_0$  ( $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$ ). [10]. Berdasarkan Gambar II.1, antenna mikrostrip terbagi menjadi tiga bagian penting yaitu *patch*, *ground plane* dan *substrate* juga bagian lain yaitu *feed* atau sering disebut elemen pencatu.

a. *Patch (conducting patch)*

*Patch* merupakan elemen peradiasi yang berfungsi meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Elemen peradiasi ini berbentuk lempengan tipis dari konduktor yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya. Bentuk dari *patch* ada bermacam-macam disesuaikan dengan kebutuhan perancangan dan spesifikasi yang dituju bisa *rectangular*, *square*, *circular*, *tringular*, *circular ring* atau bentuk lainnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar II.2. Radiasi elemen dan jalur pencatuan pada *patch* biasanya menggunakan *photoetched* pada substrat dielektrik.



Gambar II.2 Macam-macam bentuk patch [7]

b. *Ground plane*

*Ground plane* atau elemen petanahan pada antenna mikrostrip merupakan suatu bagian yang berada dibawah elemen peradiasi. *Groundplane* biasanya terbuat dari bahan konduktor yang sama dengan *patch*, akan tetapi pada *groundplane* biasanya dibuat menutupi bagian bawah antenna mikrostrip. Fungsi dari *groundplane* itu sendiri sebagai reflektor dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan. Elemen petanahan terbuat dari konduktor tipis yang menutupi seluruh bagian bawah dari antenna mikrostrip.

### c. Substrat

Elemen substrat merupakan bahan dielektrik yang berfungsi untuk memisahkan antara *patch* dan groundplane, berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari pencatutan. Karakteristik substrat mempunyai pengaruh yang besar terhadap parameter-parameter antenna. Elemen ini memiliki jenis yang bervariasi dan konstanta dielektrik yang berbeda-beda. Semakin tinggi besar permitivitas relatif yang dimiliki substrat, maka ukuran *patch* yang digunakan akan semakin kecil dan sebagai akibatnya daerah radiasi yang dihasilkan semakin kecil. Pengaruh ketebalan substrat mempengaruhi *bandwidth*. Penambahan ketebalan substrat akan memperlebar *bandwidth*, namun lebarnya *bandwidth* mengakibatkan timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*). Tabel II.2 menunjukkan jenis bahan yang biasa digunakan untuk elemen substrat beserta konstanta dielektrik yang dimiliki.

Tabel II.2 Konstanta Bahan dielektrik [9]

Jenis Bahan (material)	Konstanta Dielektrik
Udara	1
foam	1,07
Epoxy FR 4	4,4
RT/Duroid 5880	2,2
Polysterene-quartz	2,6
Teflon-ceramic	2,3
Polyolefin-ceramic	3 – 10
Polyester-ceramic	6
Silicon	3 – 25

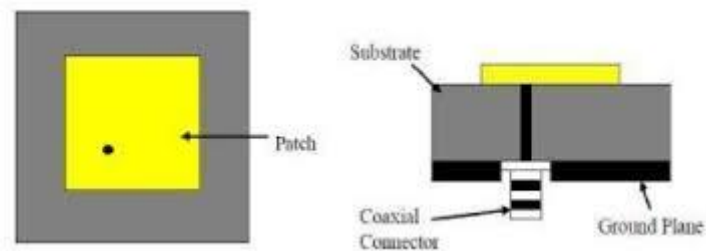
### d. Teknik pencatutan *Coaxial Probe*

Teknik pencatutan merupakan metode yang digunakan untuk elemen pencatu yang merupakan penghubung *patch* dengan perangkat pengirim atau penerima radio. Teknik pencatu pada antenna mikrostrip dapat dibedakan atas dua, yaitu pencatutan langsung (*excited directly*) dan pencatutan tidak langsung (*exites indirectly*). Teknik pencatutan langsung yang umum dilakukan adalah teknik pencatutan *Coaxial Probe*.

*Coaxial Probe* atau *probe feed* teknik pencatutan yang konduktor dalam konektor koaksial meluas melalui dielektrik dan disolder ke *radiating patch*, sedangkan konduktor luar terhubung ke *ground plane*. Keuntungan utama dari

skema pencatutan jenis ini adalah bahwa pencatutan dapat ditempatkan pada setiap lokasi yang diinginkan di dalam *patch* untuk mencocokkan dengan impedansi input. Akan tetapi, pada teknik pencatutan ini *bandwidth* yang didapat akan lebih sempit dan pada saat pemodelan titik catu harus dibor pada substrat dan konektor menjorok di luar *ground plane*, sehingga substrat yang digunakan harus benar-benar tipis. Untuk substrat yang lebih tebal, peningkatan panjang probe membuat impedansi input lebih induktif, dan akan menimbulkan masalah pada *matching* [11].

Teknik *Coaxial probe* ini meletakkan *probe* pada titik dimana impedansi input dari *patch* sebanding dengan impedansi karakteristik dari saluran pencatu coaxial. Pencatutan dengan menggunakan *coaxial probe* dapat memudahkan proses fabrikasi antenna. Untuk gambaran pencatutan *coaxial probe* yang lebih rinci dapat ditinjau pada II.3



Gambar II.3 Teknik Pencatutan *coaxial probe*

Dengan pemakaiannya yang semakin berkembang, antenna mikrostrip juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan dari antenna mikrostrip.

#### II.3.1.1 Kelebihan Antena Mikrostrip

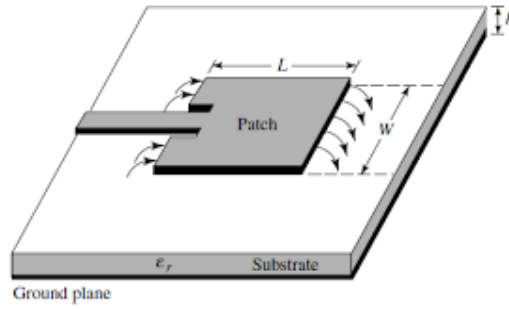
1. Lebih efisien secara dimensi karena memiliki konfigurasi *profile* yang tipis sehingga dapat dibuat secara koformal.
2. Dapat menghasilkan polarisasi linier dan sirkular dengan pencatutan yang sederhana.
3. Mudah diintegrasikan dengan rangkaian *microwave* terpadu (MICs)
4. Antena dengan *dual frequency* pada *sweep frequency* yang panjang.

#### II.3.1.2 Kekurangan Antena Mikrostrip

1. Memiliki *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah.
2. Kemampuan daya yang digunakan relatif rendah (hingga sekitar 100W)
3. Menimbulkan gelombang permukaan (*surface wave*).
4. Memiliki rugi-rugi hambatan (*ohmic loss*) pada pencatutan array.

### II.3.2 Antena Mikrostrip Persegi

Antena mikrostrip *patch* persegi merupakan antena mikrostrip dengan bentuk elemen peradiasi persegi yang memiliki 2 besaran panjang yaitu L untuk panjang dan W untuk lebar.



Gambar II.4 Antena Mikrostrip persegi

Panjang dan lebar antena mikrostrip persegi ditentukan oleh frekuensi tengah, tebal substrat dan konstanta dielektrik efektif pada substrat. Panjang dan lebar pada antena mikrostrip dapat ditentukan dengan persamaan :

- a. Menghitung lebar *patch* antena (W)

$$W = \frac{c}{2 f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.1)$$

Untuk menghitung lebar *patch* dari antena mikrostrip, sebelumnya harus ditentukan bahan untuk substrat yang akan digunakan dan  $f_r$  (frekuensi tengah) pada antena yang akan dibuat. Frekuensi kerja didapat dari

$$f_r = \sqrt{(f_{\text{batas atas}}) \times (f_{\text{batas bawah}})} \quad (2.2)$$

- b. Menghitung panjang *patch* antena (L)

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.3)$$

Pada saat menentukan panjang patch, perlu diketahui harga konstanta dielektrik efektif yang diketahui dari persamaan

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right) \quad (2.4)$$

sehingga nilai  $\epsilon_{\text{reff}}$  dapat disubstitusikan pada persamaan (2.3)

Selanjutnya panjang *patch* dapat dicari dengan persamaan

$$L = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (2.5)$$

c. Menghitung panjang lebar substrat dan *groundplane*.

$$L_g \geq 6h + L \quad (2.6)$$

$$W_g \geq 6h + W \quad (2.7)$$

### II.3.3 Parameter Umum Antena

Antena memiliki beberapa parameter untuk menilai performanya. Terdapat 2 jenis parameter pada antena yaitu parameter dalam antena yang dapat diukur dengan NA(*Network Analyzer*) dan parameter luar antena diukur dengan *Signal Generator* dan *Spectrum Analyzer*.

#### II.3.3.1 Parameter Dalam Antena

##### 1. *Bandwidth*

*Bandwidth* adalah daerah rentang frekuensi di mana antena dapat memancarkan atau menerima energi dengan benar..*Bandwidth* antena biasanya ditulis dalam bentuk presentase *bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi, berikut rumus perhitungan *bandwidth*:

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana:

$f_h$  = Frekuensi atas (MHz)

$f_l$  = Frekuensi bawah (MHz)

$f_c$  = Frekuensi tengah (MHz)

## 2. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

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

Rumus untuk mencari VSWR adalah :

$$\text{VSWR} = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.9)$$

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

## 3. *Return Loss*

*Return Loss* merupakan parameter yang menunjukkan seberapa besar daya yang hilang ke ruang bebas. *Return loss* ini dapat terjadi akibat diskontinuitas saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Nilai *return loss* yang baik adalah lebih kecil dari -10dB

$$RL = 10 \log (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \quad (2.10)$$

Atau dengan rumus

$$RL = -20 \log |\Gamma| \quad (2.11)$$

Dimana:

$P_{\text{out}}$  = Daya output (Watt)

$P_{\text{in}}$  = Daya input (Watt)

$\Gamma$  = Koefisien pantul

#### 4. Impedansi Input

Impedansi input adalah perbandingan (rasio) impedansi pada bagian terminal antenna atau perbandingan antara tegangan dan arus listrik pada terminal antenna. Impedansi masukan,  $Z_{in}$  terdiri dari dua bagian real ( $R_{in}$ ) dan bagian imajiner ( $X_{in}$ ).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.12)$$

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

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

### II.3.3.2 Parameter Luar Antena

#### 1. Pola Radiasi

Pola radiasi disebut juga pernyataan secara grafis yang menggambarkan sifat radiasi dari antenna. Pola radiasi dapat disebut sebagai pola medan (*field pattern*) apabila yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut pola daya (*power pattern*) apabila yang digambarkan adalah *pointing* vektor. Terdapat beberapa jenis pola radiasi yaitu Pola isotropis merupakan pola radiasi ke segala arah secara merata pada tiap elevasinya, pola omnidirectional yaitu pola radiasi yang menyebar ke seluruh arah secara merata namun berbeda pada tiap elevasinya, sedangkan pola directional menandakan pola radiasi yang hanya mengarah ke satu arah azimuth dan elevasi.

#### 2. Polarisasi Antena

Polarisasi antenna merupakan arah medan listrik yang diradiasikan oleh antenna. Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Polarisasi



dapat diklasifikasikan sebagai polarisasi *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Jenis polarisasi ditentukan melalui nilai *axial ratio* yang merupakan perbandingan perbandingan antara sumbu mayor dan sumbu minor yang dinyatakan dalam dB.

$$|Axial Ratio| = \frac{major axis (A)}{minor axis (B)}$$

Sehingga didapat hubungan antara nilai *axial ratio* dan polarisasi adalah

- a.  $|axial ratio|=1$  atau  $|axial ratio|< 3$  dB , polarisasi sirkular.
- b.  $1 < |axial ratio| < \infty$  atau  $3dB < |axial ratio| < 40dB$ , polarisasi elips.
- c.  $|axial ratio| = \infty$  atau  $|axial ratio| > 40dB$ , polarisasi linier.

### 3. Directivity

*Directivity* merupakan perbandingan antara rapat daya maksimum pada berkas utama terhdap rapat daya rata-rata yang diradiasikan. Direktivitas menandakan keterarahan antenna meradiasikan kesuatu arah tertentu. Pengaruh direktivitas dapat dilihat pada pola radiasi, semakin besar direktivitas maka lobe akan semakin sempit atau semakin terarah.

### 4. Gain

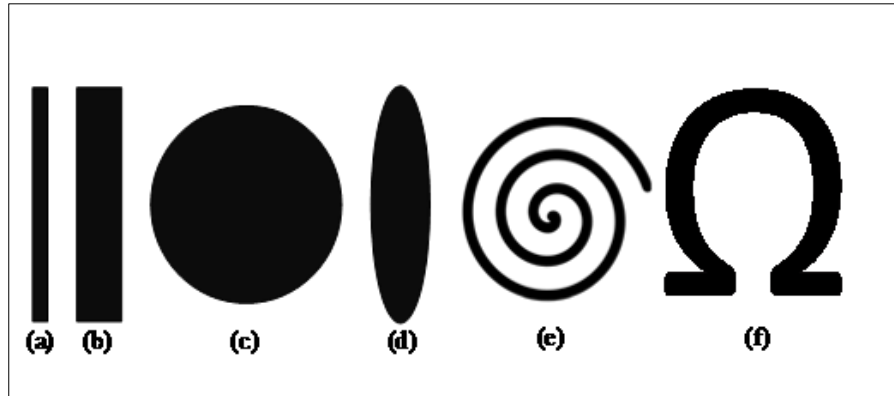
*Gain* merupakan perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang diterima. *Gain* sangat berhubungan erat denan direktivitas dimana direktivitas hanya memperhitungkan keterarahan radiasi antenna sedangkan *gain* melihat efisiensi dari antenna tersebut.

$$Gain = 4\pi \frac{Intensitas radiasi pada arah tertentu}{Intensitas radiasi yang diterima} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.13)$$

## II.3.4 Material Dielektrik Artifisial

Material dielektrik artifisial merupakan jenis metamaterial yang disusun secara teratur atau tidak teratur, homogen atau struktur inhomogen yang bergantung pada distribusi setiap partikel, isotropik atau anisotropik yang ditentukan oleh orientasi setiap partikel. Susunan partikel dalam dielektrik buatan menentukan karakteristik bahan dielektrik dari maskroskopik sudut pandang setiap partikel [4].

Material dielektrik artifisial terdiri dari sebuah partikel unit yang dapat dibuat dari kawat tipis, strip persegi panjang, strip melingkar, spiral dan silinder. Faktor utama yang menentukan karakteristik makroskopik dari bahan dielektrik artifisial adalah orientasi dan distribusi partikel unit.



Gambar II.5 Berbagai bentuk unit partikel dari material dielektrik artifisial (a) Kawat tipis, (b) Strip persegi panjang, (c) strip melingkar, (d) strip oval, (e) spiral, dan (f) silinder [13]

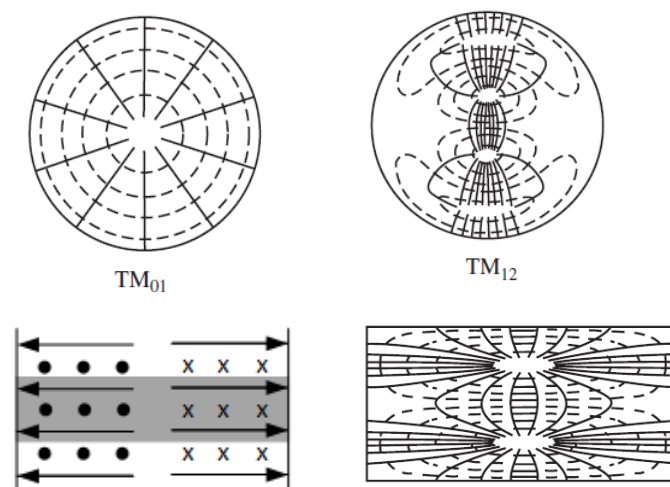
Selanjutnya adapula yang disebut dengan material artifisial. Material Artifisial merupakan istilah material buatan yang dibuat dengan elektromagnetisasi. Berdasarkan parameter material, material artifisial meliputi material konduktif, material magnetik dan material dielektrik [6] [7]. Sehingga material artifisial dapat didefinisikan sebagai material buatan yang dibangun oleh struktur gabungan beberapa material natural, untuk mendapatkan sifat-sifat pada bidang elektromagnetik atau material buatan dengan sifat-sifat elektromagnetis berupa konduktivitas, permitivitas dan permeabilitas yang diturunkan dari unsur-unsur material itu sendiri [14].

### II.2.5 Mode Gelombang TM

Tipe perambatan energi listrik ada saluran transmisi yang dibentuk dalam medan elektromagnetik transversal dibagi menjadi 2 yaitu tipe TE (*Transverse Elektrik*) dan TM (*Transverse Magnetic*). Mode TM merupakan suatu kondisi medan magnet  $H$  transversal pada sumbu bumbung gelombang;  $H_z = 0$  dan  $E_z \neq 0$ . Dalam praktiknya, mode gelombang dirancang agar hanya satu mode yang menjalar. Mode ini disebut mode dominan. Mode ini diberi notasi  $TM_{mn}$ , dengan  $m$

dan  $n$  merupakan bilangan integer dan menunjukkan banyaknya gelombang berdiri dalam arah yang normal terhadap arah jalar [15].

Mode gelombang yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan  $TM_{01}$  dan  $TM_{12}$ . Mode gelombang  $TM_{01}$  memiliki konfigurasi arah gelombang yang paling sederhana karena tidak memiliki variasi medan magnet dalam arah *angular*. Mode gelombang  $TM_{12}$  memiliki konfigurasi arah gelombang yang juga sederhana yang terdapat 2 arah jalar pada medan magnet.



Gambar II.6 Mode Gelombang  $TM_{01}$  dan  $TM_{12}$  [12]

## II.2.6 Radar Altimeter

Radar altimeter, radio altimeter, *Low Range Radio Altimeter* (LRRA) atau biasa disingkat RA merupakan suatu instrumen untuk mengukur ketinggian pesawat atau helikopter diatas ground level (AGL) atau land surface atau biasa disebut *absolute altitude*. Secara fungsi, radio altimeter bekerja dengan memancarkan gelombang radio magnetik ke *ground* dan dipantukan kembali ke pesawat yang diterima oleh antenna penerima dari radio altimeter.

Range operasi dari radar altimeter berada pada frekuensi 4.2 – 4.4 GHz. Ada dua antenna yang digunakan terpisah untuk fungsi *transmit* dan *receive*, dikarenakan perbedaan waktu antara sinyal yang dikirim dan diterima sangat singkat sehingga tidak mungkin menggunakan satu antenna dengan dua fungsi sekaligus. [13]