

BAB II DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan media perpindahan antara ruang bebas dengan saluran transmisi. Antena digunakan untuk mentransmisikan energi elektromagnetik dari sumber pemancar sinyal ke antena, atau dari antena ke penerima sinyal. Oleh sebab itu terdapat dua jenis antena yaitu antena pemancar dan antena penerima (Balanis, 1982:1).

2.1.1 Proses Gelombang Elektrik Menjadi Gelombang Elektromagnetik oleh Antena

Antena merupakan sebuah alat yang mengubah gelombang elektrik dari saluran transmisi menjadi gelombang elektromagnetik di ruang bebas dan sebaliknya. Saluran transmisi adalah alat yang berfungsi sebagai penghantar atau penyalur energi gelombang elektromagnetik. Suatu sumber yang dihubungkan dengan saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya menimbulkan gelombang berjalan yang seragam sepanjang saluran itu. Jika saluran ini dihubungkan singkat, maka akan timbul gelombang berdiri yang disebabkan oleh interferensi gelombang datang dengan gelombang yang dipantulkan. Jika gelombang datang sama besar dengan gelombang yang dipantulkan akan dihasilkan gelombang berdiri murni. Konsentrasi-konsentrasi energi pada gelombang berdiri ini beresilasi dari energi listrik seluruhnya ke energi magnet total dua kali setiap periode gelombang itu.

Jika sumber atau pemancar dihubungkan dengan saluran transmisi ke antena, maka energi diteruskan ke ruang bebas sehingga daerah ini merupakan transisi antara gelombang elektrik dengan gelombang elektromagnetik. Begitu pula sebaliknya jika antena digunakan sebagai antena penerima.

2.2 Parameter Antena

Agar performansi dari suatu antena diketahui, maka dibutuhkan beberapa parameter. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan secara keseluruhan (Balanis, 2005:27).

Parameter yang digunakan dalam perancangan antena pada skripsi ini antara lain: *Bandwidth*, *Gain*, Pola Radiasi, Polarisasi, *Return Loss*, dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR).

2.2.1 Bandwidth

Bandwidth adalah batasan frekuensi dimana antena dapat bekerja memenuhi karakteristik atau standar yang telah ditentukan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yaitu dalam bentuk persen (%) untuk antena yang memiliki *band* sempit (*narrowband*) dan dalam bentuk rasio untuk antena yang memiliki *band* lebar (*broadband*). (Balanis, 2005 : 70).

Persamaan untuk mendapatkan nilai *bandwidth* yaitu:

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2-2)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-3)$$

dengan:

B_p = *bandwidth* dalam persen

B_r = *bandwidth* rasio

f_u = frekuensi atas (Hz)

f_c = frekuensi tengah (Hz)

f_l = frekuensi bawah (Hz)

2.2.2 Gain

Gain antena adalah perbandingan antara intensitas radiasi antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi antena ke segala arah (isotropis). Intensitas

radiasi antenna ke segala arah dapat dijabarkan sebagai perbandingan 4π dengan total daya yang diterima. *Gain* dapat dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 4\pi \frac{\text{Intensitas Radiasi}}{\text{Total Daya Input}} \quad (2-4) \\ &= 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \end{aligned}$$

Pada keadaan sebenarnya, *gain* antenna dibandingkan dengan intensitas radiasi sebuah antenna standar dipole $1/2 \lambda$ yang sudah diketahui nilai *gain*-nya kira-kira 1.64 (Stutzman, 1981:39). Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah

$$\text{Gain} = 1.64 \times \frac{P_u}{P_r} \quad (2-5)$$

$$\text{Gain(dB)} = 2.15 \text{ dB} + P_u(\text{dB}) - P_r(\text{dB}) \quad (2-6)$$

Dengan:

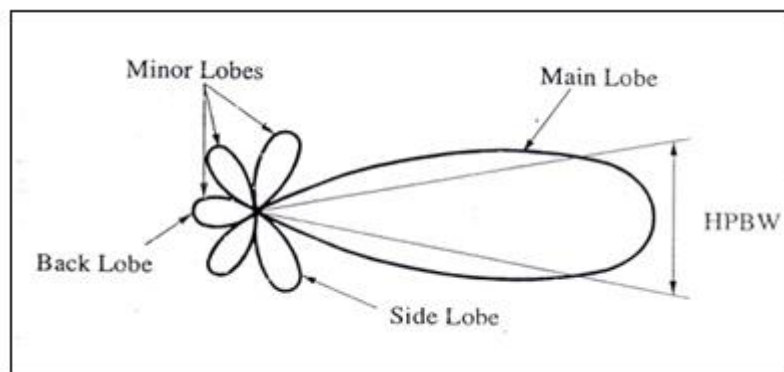
P_u = daya yang diterima antenna uji

P_r = daya yang diterima antenna referensi

2.2.3 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah representasi grafis dari beberapa radiasi antenna yang dinyatakan dalam fungsi koordinat ruang. (Balanis, 1982:28). Pola radiasi mengklasifikasikan antenna menjadi tiga yaitu pola radiasi isotropis, *directional*, dan *omnidirectional*.

Pola radiasi terdiri atas bagian-bagian yang disebut *lobes*, yang kemudian dibagi menjadi *major lobe* dan *minor lobe*. *Minor lobe* terdiri atas dua, yaitu *side lobe* dan *back lobe*. Hal ini dijelaskan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lobe-lobe pola radiasi

Sumber: Balanis, 2005: 30

Keterangan :

- **HPBW** : Sudut yang terbentuk oleh titik setengah daya dari *main lobe*
- **Main lobe** : Bagian dari daerah radiasi dimana arah radiasi antenna maksimum
- **Minor lobe** : Bagian ini menyatakan daerah radiasi yang tidak diinginkan. Level dari *minor lobe* ini menyatakan besarnya rasio *side lobe level*
- **Back lobe** : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.
- **Side lobe** : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*.

Pola radiasi antenna dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu yang dapat dinyatakan dengan persamaan (Balanis, 2005) :

$$P(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T} (dB) \quad (2-7)$$

$$P(dB) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \quad (2-8)$$

dengan :

- P = intensitas radiasi antenna pada sudut tertentu (dB)
- P_o = daya yang diterima antenna pada sudut 0° (watt)
- P_T = daya yang diterima antenna pada sudut tertentu (watt)

Sebagian besar antenna dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *main lobe* tersebut dinamakan *Beamwidth*. *Half Power Beamwidth* (HPBW) didefinisikan sebagai sudut antara titik-titik di mana pada titik tersebut pancaran utama dari pola daya adalah setengah daya maksimum.

Nilai SLL suatu antenna merupakan perbandingan antara daya yang terkonsentrasi pada *main lobe* dengan daya pada *side lobe* dan dapat dinyatakan dalam persamaan (Stutzman, 1981:29) :

$$SLL = 20 \log \left| \frac{F(SLL)}{F(\max)} \right| \text{ (dB)} \quad (2-9)$$

dengan:

SLL = *side lobe level*

F(SLL) = nilai maksimum *side lobe*

F(max) = nilai maksimum *main lobe*

Nilai *F/B* suatu antenna merupakan perbandingan daya pada arah pancar terbesar yang dikehendaki (*main lobe*) dengan daya pada arah pancar yang berlawanan dengan *main lobe* (*minor lobe*).

$$F/B = \frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \quad (2-10)$$

$$F/B \text{ (dB)} = P_m \text{ (dBm)} - P_l \text{ (dBm)} \quad (2-11)$$

dengan :

F/B = *Front to Back ratio* (dB)

P_m = daya puncak *main lobe* (dBm)

P_l = daya puncak *back lobe* (dBm)

2.2.4 Polarisasi

Polarisasi adalah bentuk energi yang diradiasikan oleh antenna dengan arah yang berasal dari pusat antenna. Polarisasi dibagi menjadi tiga yaitu polarisasi linier, lingkaran, dan elips (Balanis, 1982:64).

Jenis polarisasi pada antenna dapat ditentukan dengan mencari nilai AR (*Axial Ratio*) (Balanis, 1982:66).

$$AR = \frac{\text{Major lobe}}{\text{Minor lobe}} \quad (2-12)$$

Apabila nilai $AR = \infty$, dapat dikatakan antenna memiliki polarisasi linier.

Jika nilai $AR = 1$, antenna memiliki polarisasi lingkaran, dan dikatakan memiliki polarisasi elips jika nilai $1 < AR < \infty$.

2.2.5 Return Loss

Return Loss adalah parameter untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Koefisien refleksi adalah perbandingan antara tegangan yang dipantulkan terhadap tegangan gelombang maju. Jika suatu antenna memiliki nilai *return loss* dibawah -10 dB, dapat dikatakan antenna tersebut memiliki perfomansi yang baik. -10 dB berarti 90% sinyal dapat diserap dan hanya 10% sinyal yang dipantulkan kembali (Punit, 2004: 19):

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_l} \quad (2-13)$$

$$RL = -20 \log \Gamma \text{ (dB)} \quad (2-14)$$

dengan:

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (Volt)

V_l = tegangan gelombang maju (Volt)

RL = *return loss* (dB)

2.2.5.1. Hubungan antara *Return Loss* dengan Frekuensi

Frekuensi kerja antenna berpengaruh terhadap *matching* impedansi, dimana kondisi paling *match* berada pada kisaran frekuensi kerja yang direncanakan. *Matching* impedansi berhubungan dengan koefisien pantul melalui persamaan (Balanis, 1982:73):

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2-15)$$

Dengan:

Z_{in} = impedansi input antenna

Z_0 = impedansi karakteristik saluran transmisi

Impedansi berdasarkan persamaan (2-17) adalah penjumlahan komponen resistansi dengan reaktansi. Pada reaktansi tersendiri terdapat komponen matematis $j\omega$, dimana ω merupakan dua kali π dikalikan dengan frekuensi.

2.2.6 VSWR

Voltage Standing Wave Ratio adalah perbandingan antara amplitude tegangan maksimum terhadap *amplitude* tegangan minimum dalam suatu gelombang berdiri. VSWR dapat dinyatakan dengan persamaan (Krauss, 1988:833):

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-16)$$

Apabila ketika gelombang listrik mengalir sepanjang saluran pencatu dari pemancar ke antena ada arus balik yang timbul dari antena ke pemancar, maka arus balik ini akan menyebabkan interferensi dengan arus yang mengalir ke antena. Hal ini menyebabkan superposisi arus tersebut akan membesar dan mengecil sesuai besarnya arus balik yang berarti nilai VSWR berbanding lurus dengan arus balik. Semakin besar nilai arus balik, maka nilai VSWR juga akan menjadi semakin tinggi yang mengakibatkan semakin besar pula *missmatch* antena. Sebaliknya, semakin kecil nilai VSWR maka antena semakin *matching*. Oleh karena itu, antena dikatakan dapat bekerja dengan baik apabila memiliki nilai VSWR antara 1 sampai 2.

2.2.7 Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi yang ditunjukkan oleh antena pada terminal-terminalnya atau perbandingan tegangan terhadap arus pada pasangan terminalnya (Balanis, 1982:53). Transfer daya maksimum hanya dapat terjadi jika impedansi antena tersebut *matching* dengan bebannya, dimana melibatkan *conjugate kompleks* dari impedansi beban. Perbandingan tegangan dan arus pada terminal-terminal tanpa beban, memberikan impedansi masukan antena sebesar

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2-17)$$

Dengan :

Z_{in} = impedansi antena di terminal (Ω)

R_{in} = resistansi antenna di terminal (Ω)

X_{in} = reaktansi antenna di terminal (Ω)

Saluran mikrostrip juga memiliki resistansi yang merupakan rugi-rugi dalam saluran mikrostrip. Resistansi rugi-rugi pada antenna mikrostrip sama dengan resistansi rugi-rugi pada antenna konvensional, yaitu terdiri dari rugi konduktor dan rugi radiasi yang dinyatakan oleh persamaan berikut

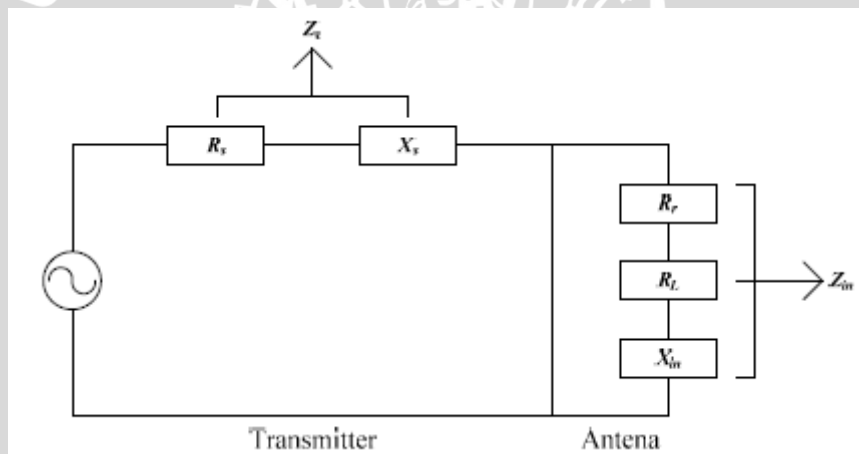
$$R_A = R_r + R_s \quad (2-18)$$

Dengan :

R_r = resistansi radiasi (Ω)

R_s = resistansi konduktor (Ω)

Resistansi radiasi pada antenna penerima adalah suatu resistansi khayal akibat adanya radiasi pada antenna sehingga mengurangi daya yang disalurkan pada antenna penerima sedangkan resistansi konduktor dipengaruhi oleh konduktifitas bahan yang digunakan.



Gambar 2.2 Rangkaian ekivalen antenna pemancar

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 31

Pada Gambar 2.2, impedansi dari sumber (Z_s) terdiri dari resistansi sumber (R_s) dan reaktansi dari sumber (X_s). Sedangkan Z_{in} terdiri dari R_{in} dan X_{in} . Nilai R_{in} terdiri dari dua komponen resistif, resistansi radiasi (R_r) dan resistansi rugi-rugi (R_L). Daya yang hilang akibat resistansi rugi-rugi adalah rugi-rugi yang disebabkan karena panas antenna. Panas antenna ini disebabkan oleh rugi dielektrik dan rugi konduksi. Sedangkan X_{in} adalah reaktansi antenna yang menunjukkan daya yang disimpan di daerah medan dekat. Daya maksimum diradiasikan dari

antenna pada frekuensi dimana impedansi input mendekati nilai riil. Biasanya antena dicatu oleh saluran transmisi seperti kabel koaksial, mikrostrip dan sebagainya. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan impedansi antena dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan terjadi pemantulan dan hal ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*). Sebagai tambahan, Z_{in} dapat diperoleh dengan menghitung data koefisien pantul terukur dan impedansi karakteristik (Z_0) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$$

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(\Gamma + 1)}{(\Gamma - 1)} \quad (2-19)$$

2.3 Ultra Wideband

Ultra wideband merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan dalam bidang komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi, radar berakurasi tinggi, dan sistem *imaging*. Sistem UWB beroperasi dengan *bandwidth* yang sangat lebar pada gelombang mikro. FCC (*Federal Communications Commission*) mengizinkan penggunaan UWB secara bebas pada 14 Februari 2002. Berikut adalah contoh aplikasi penggunaan sistem UWB: (Zhi Ning Chen, 2007:231)

Tabel 2.1 Rentang Frekuensi pada Aplikasi Sistem *Ultra Wideband*

Aplikasi	Rentang Frekuensi
Sistem Komunikasi Indoor	3,1 – 10,6
Radar	3,1 – 10,6
Sistem Imaging	1,61-10,6
Sistem Pengintai	1,99-10,6
Sistem Imaging Medis	3,1 – 10,6
Sistem Radar Kendaraan	22-29

Sumber : Zhi Ning Chen, 2007:232

Pada antena *ultra wideband* terdapat beberapa kriteria khusus yang harus dipenuhi. Syarat yang paling utama yaitu antena wajib memenuhi kriteria

bandwidth minimal yaitu 500 MHz atau memiliki *bandwidth* fraksional yang lebih besar dari 20%.

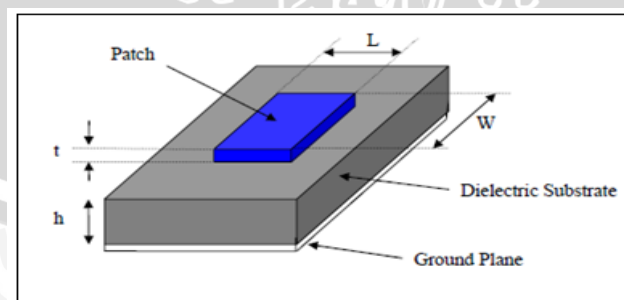
Pada umumnya kelebihan dari teknologi *ultra wideband* adalah sebagai berikut:

- Kecepatan data yang tinggi
- Mengurangi *path loss* dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap *multipath propagation*
- Ketersediaan *low-cost transceiver*
- Daya transmisi dan interferensi rendah

Selanjutnya, performansi antenna *ultra wideband* seperti pola radiasi dan *gain* diusahakan agar memiliki nilai yang konsisten di sepanjang *range* frekuensi kerja. Sedangkan jenis polarisasi dan pola radiasi disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi antenna. Jenis pola radiasi *omni-directional* biasanya digunakan untuk komunikasi bergerak, sedangkan pola radiasi *directional* banyak diaplikasikan untuk sistem yang membutuhkan *gain* tinggi. Dimensi antenna diharapkan cukup kecil dan ringan sehingga mudah diintegrasikan dengan perangkat *ultra wideband*.

2.4 Antena Mikrostrip

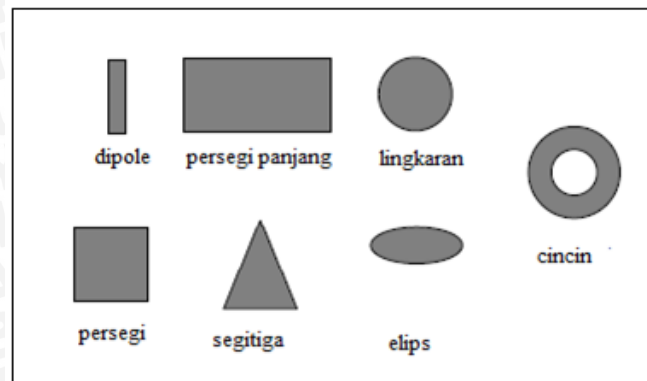
Antena mikrostrip merupakan solusi untuk menjawab kebutuhan akan antenna yang memiliki dimensi kecil dan ringan. Antena mikrostrip terdiri atas *patch* yang terletak pada suatu bahan dielektrik yang memiliki *ground plane* pada salah satu sisinya. *Patch* biasanya memiliki bentuk yang beragam dan terbuat dari bahan konduktor. Struktur antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.3 Struktur antenna mikrostrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:31

Antena mikrostrip memiliki beragam bentuk *patch*. Bentuk tersebut dapat berupa persegi, lingkaran, elips, segitiga, dan sebagainya,



Gambar 2.4 Berbagai bentuk elemen *patch* mikrostrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004: 32

2.5 Perancangan Antena Mikrostrip *Egg* dengan Slot *Rugby Ball* pada Frekuensi *Ultra Wideband*

2.5.1 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

- Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5
- Ketebalan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm
- *Loss tangen* = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga :

- Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m
- Konduktifitas tembaga (σ) = $5,80 \times 10^7$ mho m^{-1}
- Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

2.5.2 Perencanaan Dimensi Antena Mikrostrip

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (λ_0).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} (m) \quad (2-20)$$

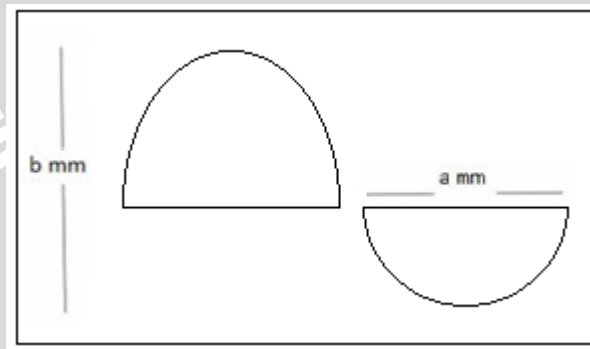
keterangan:

c = cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

f_r = frekuensi kerja (Hz)

2.5.2.1 Perencanaan Dimensi Patch

Antena yang digunakan sebagai *patch* pada antena mikrostrip ini berbentuk menyerupai telur. Antena *egg* ini terbentuk dari sebuah setengah lingkaran dan sebuah setengah elips. Antena *egg* ini dapat memenuhi kebutuhan antena untuk bekerja pada frekuensi *ultra wideband* untuk menangkap frekuensi televisi swasta di Indonesia (Rudy Yuwono, 2010).



Gambar 2.5 Geometri patch egg

Sumber : Perancangan

2.5.2.2 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Lebar saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Liang J, 2004):

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_R - 1}{2\epsilon_R} \left[\ln(B - 1) + 0.39 \frac{0.61}{\epsilon_R} \right] \right\} \quad (2-21)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-22)$$

dengan:

W = lebar saluran transmisi mikrostrip (m)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

h = tebal substrat (m)

ϵ_r = konstanta dielektrik substrat

Untuk panjang saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$L = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (2-23)$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-24)$$

dengan:

L = panjang saluran transmisi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

λ_0 = panjang gelombang diruang bebas (mm)

ϵ_r = konstanta dielektrik substrat

$\lambda_0 > \lambda_d$ karena panjang gelombang di ruang bebas berbanding lurus dengan konstanta dielektrik substrat yang berkisar antara $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$

2.5.2.3 Perencanaan Dimensi *Ground Plane*

Dimensi minimum *ground plane* yang dibutuhkan oleh antena mikrostrip dapat dicari melalui persamaan berikut: (Punit S. Nakar, 2004: 51)

$$L_g = 6h + L \quad (2-25)$$

$$W_g = 6h + W \quad (2-26)$$

Untuk *patch* lingkaran, karena $L = 2R$ dan $W = \frac{\pi R}{2}$, maka panjang dan minimum *ground plane* adalah:

$$L_g = 6h + 2R \quad (2-27)$$

$$W_g = 6h + \frac{\pi}{2} R \quad (2-28)$$

Keterangan:

L_g = panjang sisi minimum *ground plane* (m)

W_g = lebar sisi minimum *ground plane* (m)

L = panjang *patch* persegi (m)

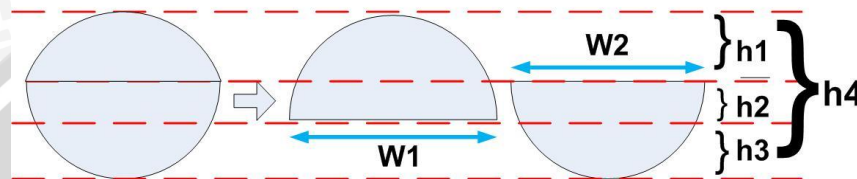
W = lebar *patch* persegi (m)

R = radius *patch* lingkaran (m)

h = ketebalan substrat (m)

2.5.2.4 Perencanaan Dimensi Slot Rugby Ball

Antena *rugby ball* terbentuk dari dua buah setengah lingkaran yang memiliki diameter yang berbeda. Untuk lingkaran kecil bagian bawah memiliki diameter 135 mm ($r = 67.5$ mm) dan untuk lingkaran yang lebih besar memiliki diameter 144 mm ($r = 72$ mm). Sehingga perbandingannya adalah 47.5 : 24.5 : 43. Dimensi *rugby ball* sendiri dirancang berdasarkan perbandingan dasar dimensi asli antena *rugby ball*.



Gambar 2.6 Geometri slot rugby ball

sumber: Perancangan

Dengan mengacu kepada gambar 2.5 dan berdasarkan ukuran dari struktur dasar antena *rugby ball*, bentuk *rugby ball* dapat dimodifikasi sesuai ukuran yang diinginkan berdasarkan perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{h1}{47.5} = \frac{h2}{24.5} = \frac{h3}{43} = \frac{h4}{115} = \frac{W1}{144} = \frac{W2}{135} \quad (2-29)$$

Dengan demikian, apabila nilai salah satu besaran sudah ditentukan, nilai besaran yang lain dapat diketahui dengan menggunakan metode perbandingan.

2.6 Perangkat Lunak Simulator Antena

2.6.1 HFSS Ansoft v.13

HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) merupakan *software* pelopor yang menggunakan *Finite Element Method (FEM)* untuk simulasi elektromagnetik dengan mengembangkan serta menerapkan teknologi seperti *tangential vector finite elements*, *adaptive meshing*, dan *Adaptive Lanczos-Pade Sweep (ALPS)*. Pada HFSS, model geometri secara otomatis dibagi kedalam sejumlah besar *tetrahedron*. HFSS merupakan simulator gelombang elektromagnetik penuh dengan performa yang baik untuk pemodelan benda tiga dimensi yang memiliki volume yang berubah-ubah. HFSS ini menyatukan proses

simulasi, visualisasi, dan proses pemodelan ke dalam suatu bentuk yang mudah untuk dipelajari. Simulator ini dapat dimanfaatkan untuk menghitung parameter seperti S parameter, frekuensi resonansi, dan medan.

2.6.2 CST Microwave Studio 2011

CST (*Computer Science Technology*) *Microwave Studio* merupakan *software* yang menggunakan *Method of Moments* (MoM) dalam perhitungan simulasi elektromagnetik dalam frekuensi tinggi dengan pemodelan tiga dimensi. CST *Microwave Studio* mampu melakukan analisis yang akurat menggunakan teknik integrasi terbatas. Metode tersebut efisien untuk penggunaan perangkat *high frequency* seperti antena, filter, jenis transmisi, konektor, dan sebagainya.

