

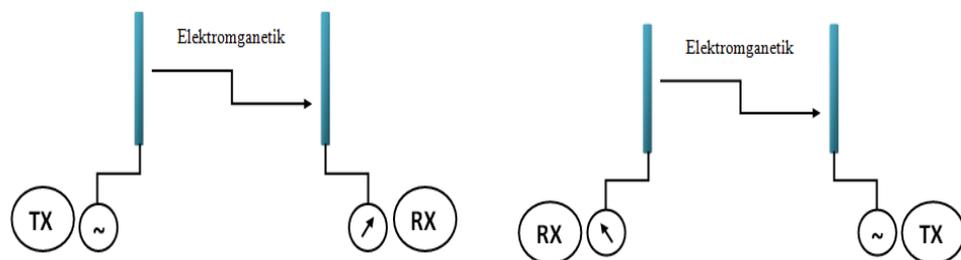
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antena

2.1.1 Pengertian Antena

Antena merupakan perangkat radio yang bekerja mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik kemudian memancarkannya ke ruang bebas atau sebaliknya, yaitu menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas dan mengubah menjadi sinyal listrik. (Endri, Jon : 2017)

Antena yang mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik dikatakan transmitter. Antena yang mengubah sinyal elektromagnetik menjadi sinyal listrik dikatakan antena receiver. Sesuai dengan definisinya dapat dilihat bahwa antena mempunyai sifat kerja bolak-balik. Sifat kerja bolak-balik ini dikatakan sifat reciprocal dari antena. Dimana 1 buah antena dapat dioperasikan sebagai antena transmitter dan sekaligus sebagai antena receiver.



Gambar 2.1 Gambaran Sifat Reciprocal Antena

(Sumber :Stalling, 2007)

Antena dapat juga didefinisikan sebagai konduktor elektrik atau suatu sistem konduktor elektrik yang digunakan baik untuk meradiasikan energi elektromagnetik atau untuk mengumpulkan energi elektromagnetik. (Stalling, 2007). Menurut John Daniel Krauss pada bukunya tahun 1988, antena merupakan transduser yang mengubah arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara. Dalam sistem komunikasi radio, gelombang elektromagnetik berjalan dari pemancar ke penerima melalui udara, dan diperlukan antena pada

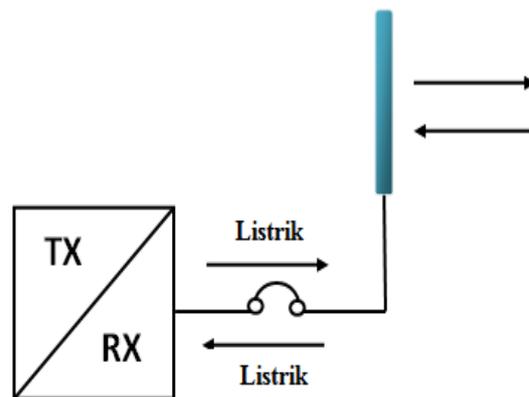
kedua ujung tersebut untuk keperluan pengandengan (*coupling*) pemancar dan penerima dalam hubungan ruang.

2.1.2 Fungsi Antena

Berdasarkan definisi antena atau berdasarkan cara kerja antena maka antena memiliki 3 fungsi pokok yaitu :

1. Antena berfungsi sebagai Konverter

Antena dikatakan sebagai Konverter karena antena berfungsi mengubah bentuk sinyal yaitu dari sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik ataupun sebaliknya.

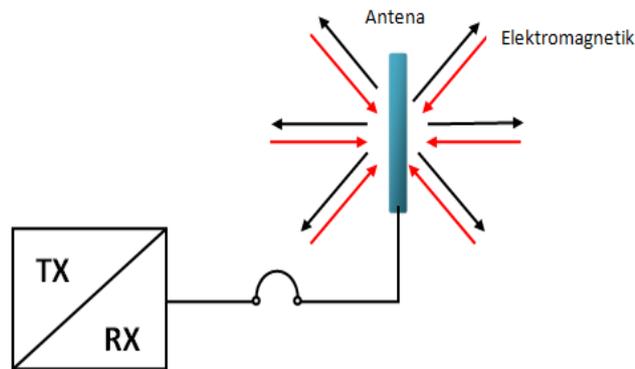


Gambar 2.2 Antena Sebagai Konverter

(Sumber : Stalling, 2007)

2. Antena berfungsi sebagai Radiator/Re-Radiator

Antena berfungsi sebagai Radiator/Re-Radiator karena berfungsi sebagai peradiasi sinyal dimana sinyal elektromagnetik yang dihasilkan antena akan diradiasikan ke udara bebas sekelilingnya. Sebaliknya jika antenna menerima radiasi elektromagnetik dari udara bebas fungsinya dikatakan Re-Radiator. Jadi antena *transmitter* mempunyai fungsi Radiator sedangkan antena *receiver* mempunyai fungsi Re-Radiator.

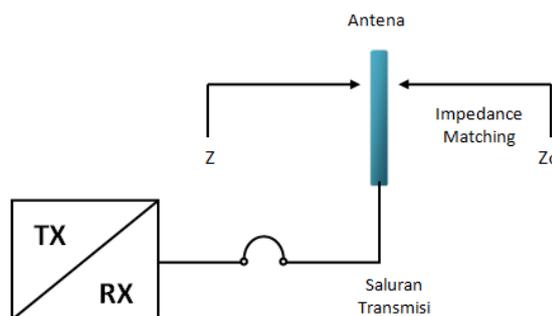


Gambar 2.3 Antena Sebagai Radiator/Re-Radiator

(Sumber : Stalling, 2007)

3. Antena berfungsi sebagai *Impedance Matching*

Antena berfungsi sebagai *Impedance Matching* karena pada saat antena tersebut bekerja antena akan selalu menyesuaikan *impedance system*. Sistem yang dimaksud adalah pesawat komunikasi dan udara bebas dimana antena merupakan jembatan antara pesawat komunikasi dengan udara bebas. Adapun impedansi yang disesuaikan tergantung pada jenis pesawat komunikasi, dimana untuk pesawat radio impedansinya 75Ω . Adapun udara bebas mempunyai karakteristik sebesar $120\pi\Omega \approx 377\Omega$.



Gambar 2.4 Antena Sebagai *Impedance Matching*

(Sumber : Stalling, 2007)

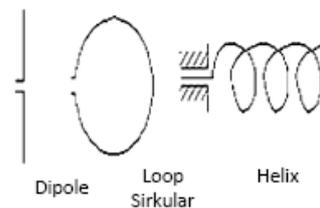
- Jika antena berupa antena radio maka antena akan selalu menyesuaikan impedansi radio dengan impedansi udara bebas.
- Jika antena berupa antena TV maka akan selalu menyesuaikan impedansi TV dengan impedansi udara bebas.

2.1.3 Jenis-Jenis Antena

Pada umumnya tipe antena berdasarkan bentuk dan bahannya yang biasa digunakan terbagi menjadi 6 (enam) yaitu ; (Alaydrus, Mudrik, 2011)

2.1.3.1 Antena Kawat (*Wire Antenna*)

Antena kawat merupakan jenis antena yang paling populer karena sering dilihat sehari-hari pada kendaraan mobil, gedung, kapal-kapal, pesawat terbang, spacecraft, telepon, TV, dll. Bentuk antena kawat bermacam-macam: linier (dipole, monopole, Loop Circular dan helix).

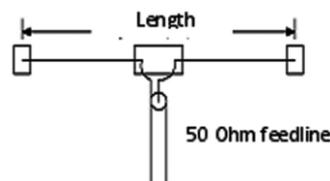


Gambar 2.5 Jenis Antena Wire

(Sumber : Alaydrus, Mudrik, 2011)

a. Antena Dipole

Antena dipole adalah sebuah antena yang dibuat dari kawat tembaga dan dipotong sesuai ukuran agar beresonansi pada frekuensi kerja yang diinginkan. Agar dapat beresonansi, maka panjang total sebuah Dipole (L) adalah $L = 0,5 \lambda \times K$.



Gambar 2.6 Antena Dipole

(Sumber : Alaydrus, Mudrik, 2011)

Rumus yang digunakan untuk menghitung total panjang antena dipole adalah:

$$\lambda = 300 / f \dots\dots\dots (2.1)$$

$$L = 0,5 \times K \times \lambda \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana: λ = Panjang gelombang diudara

F = Frekuensi kerja yang diinginkan

L = Panjang total antena dipole

K = *Velocity factor* yang diambil sebesar 0,95

b. Karakteristik Antena Dipole

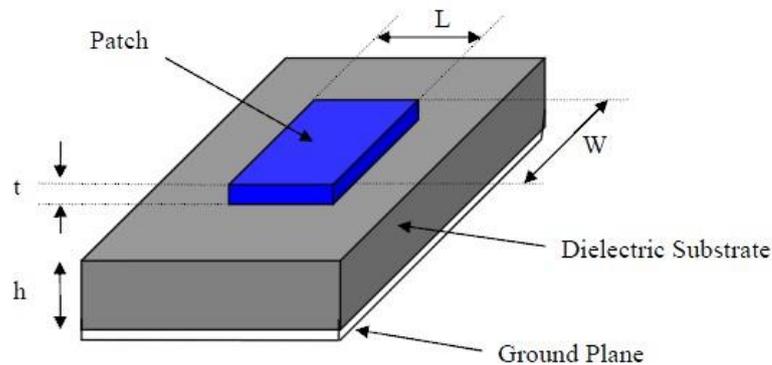
Antena ini disebut dipole dikarenakan *outer* dari *coaxial* tidak di *ground* dan disambung dengan logam lagi ini yang menjadikan antena dengan dua pole. Antena dipole ini memiliki panjang yang lebih pendek dari panjang gelombangnya. Antena dipole sebenarnya merupakan sebuah antena yang dibuat dari kawat tembaga dan dipotong sesuai ukuran agar beresonansi pada frekuensi kerja yang diinginkan.

2.1.3.2 Antena Aperture (*Aperture Antenna*)

Antena aperture ini merupakan jenis antena yang banyak digunakan pada frekuensi tinggi. Tipe ini sangat berguna untuk aplikasi pada pesawat terbang dan kendaraan angkasa. Biasanya terdapat pada *aircraft* dan *spacecraft* karena kemudahannya dalam pemasangannya. Contoh antena *aperture* antara lain antena parabola, pyramidal horn, conical horn.

2.1.3.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik seperti tampak pada Gambar 2.7. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk dipabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain. Karena sifat yang dimilikinya, antena mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi rendah.



Gambar 2.7 Struktur antenna mikrostrip

(Sumber : Alaydrus, Mudrik, 2011)

Pada Gambar 2.7 antenna mikrostrip mempunyai struktur dari tiga lapisan yaitu :

1. *Patch* bagian yang terletak paling atas dari antenna dan terbuat dari bahan konduktor dengan ketebalan (t) yang biasanya dibuat sangat tipis, ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* dapat berbentuk lingkaran, persegi panjang, segitiga dsb. Umumnya *patch* terbuat dari logam konduktor seperti tembaga atau emas dengan bentuk yang bervariasi.
2. Substrat berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnet dari sistem pencatutan dengan ketebalan (h) antara $0.003\lambda_0 - 0.05\lambda_0$. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antenna. Ketebalan substrat berpengaruh pada *bandwidth* dari antenna.
3. *Ground plane* yaitu lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

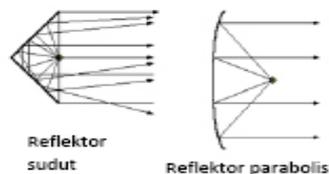
Teknologi mikrostrip tidak lepas dari perkembangan teknologi substrat itu sendiri. Sebagai material dielektrikum yang digunakan untuk saluran transmisi gelombang mikro tetapi juga antenna. Untuk substrat komersial yang tersedia umumnya memiliki dua data ukuran properti fisik, yaitu : konstanta dielektrik atau permitivitas (ϵ_r) dan *loss tangent* atau faktor disipasi ($\tan \delta$).

2.1.3.4 Antena Susun (*Array Antenna*)

Antena array adalah antena yang dibentuk dari beberapa elemen yang tersusun secara array dengan tujuan untuk menaikkan *gain* dan memperoleh pola radiasi tertentu. Contoh antena susun (*array antenna*) adalah Yagi – Uda Array.

2.1.3.5 Antena Reflektor (*Reflektor Antenna*)

Antena reflektor merupakan antena yang cocok digunakan untuk eksplorasi angkasa luar karena *gain* yang besar sebanding dengan dimensinya. Bentuk reflektor dapat berupa bidang datar, sudut, dan parabola.

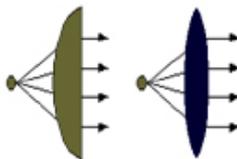


Gambar 2.8 Antena Reflektor

(Sumber : Alaydrus, Mudrik, 2011)

2.1.3.6 Antena Lensa (*Lens Antenna*)

Lensa digunakan terutama untuk mengkolimasi energi elektromagnetik agar tidak tersebar ke arah yang tidak diinginkan. Antena lensa diklasifikasikan berdasarkan bahan konstruksi, atau berdasarkan bentuk geometris.



Gambar 2.9 Antena Lensa

(Sumber : Alaydrus, Mudrik, 2011)

2.2 Antena Mikrostrip

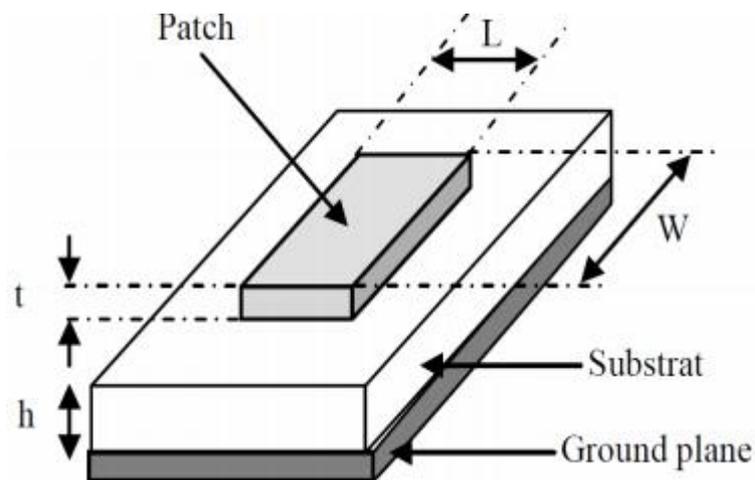
2.2.1 Pengertian Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *groundplane* yang diantaranya terdapat bahan *dielektrik*. Secara umum Antena Mikrostrip terdiri atas tiga bagian, yaitu *patch*, *substrat*, dan *ground plane*. Patch

terletak diatas substrat sementara ground plane terletak pada bagian bawah. (Darsono, 2008: 89)

Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki masa ringan, mudah difabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil jika dibandingkan dengan antena jenis lain.

Karena sifat yang dimilikinya, antena mikrostrip sangat sesuai dengan kebutuhan saat ini sehingga dapat diintegrasikan dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran kecil, akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan yaitu: *bandwidth* yang sempit, *gain* dan *directivity* yang kecil, serta efisiensi yang rendah.



Gambar 2.10 Bentuk Umum Antena *Microstrip*

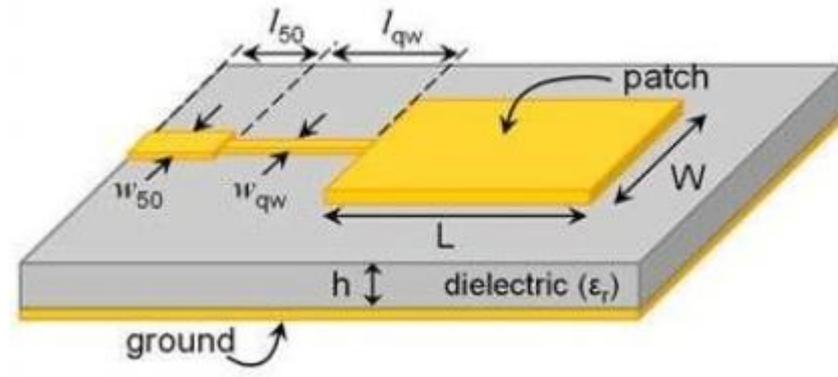
(sumber: Darsono, 2008: 89)

2.2.2 Fungsi Antena Mikrostrip

Antena ini memiliki fungsi untuk menangkap/menerima sinyal gelombang elektromagnetik termasuk yang berasal dari satelit.

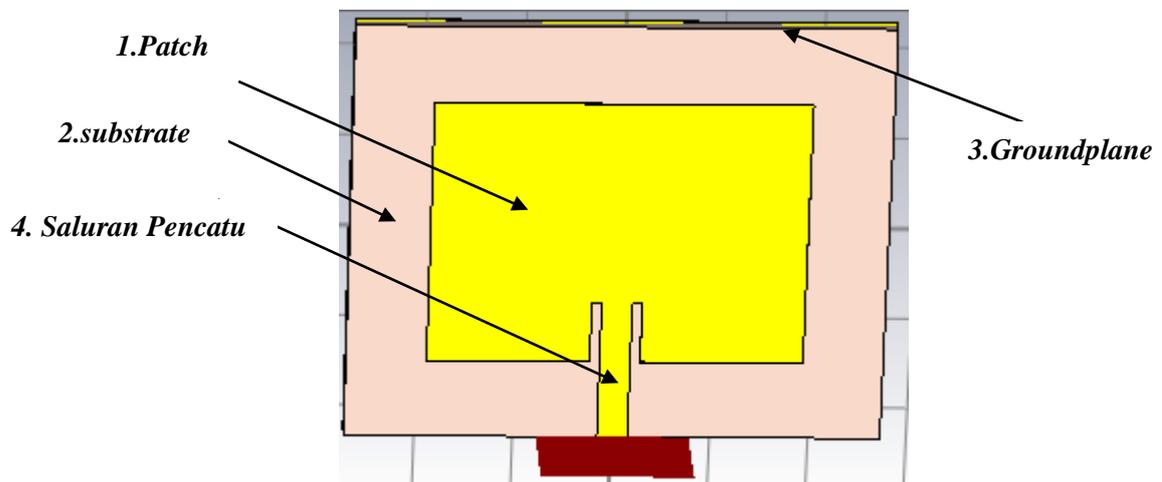
2.2.3 Desain Antena Mikrostrip *Rectangular*

Antena Mikrostrip peradiasi persegi panjang (*rectangular patch*) terdiri dari beberapa bagian, yaitu:



Gambar 2.11 Dasar Antena Mikrostrip (PCB double layer)

(sumber: Pramono, 2014: 109)

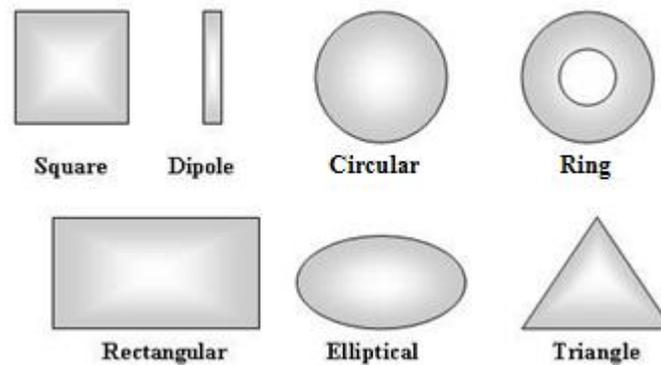


Gambar 2.12 Desain Antena Mikrostrip

(Sumber : Nadia, Martha 2018)

2.2.3.1 Conducting patch

Patch adalah bagian yang terletak paling atas dari antena dan terbuat dari bahan konduktor ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Patch terbuat dari bahan konduktor, misal tembaga. Bentuk patch bisa bermacam-macam, lingkaran, *rectangular*, segitiga, ataupun bentuk *circular ring*. Bentuk patch tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.13. (Samsul, 2015)



Gambar 2.13 Bentuk Patch Antena

(sumber: Samsul,2015)

Patch ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* dan saluran pencatu biasanya terletak diatas substrat. Tebal patch dibuat sangat tipis ($t \ll \lambda_0$; t = ketebalan *patch*). (Constantine A. Balanis.1997)

Berikut merupakan formula yang digunakan untuk merancang antena *microstrip* persegi panjang, sebelumnya untuk mencari dimensi antena mikrostrip (W dan L), harus diketahui dahulu parameter bahan yang digunakan yaitu tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ), tebal konduktor (t) dan rugi-rugi bahan. Panjang antena mikrostrip harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka bandwidth akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang bandwidth akan menjadi lebih kecil. Dengan mengatur lebar dari antena mikrostrip impedansi input akan juga berbeda. (Constantine A. Balanis.1997)

Frekuensi resonansi sebuah antena merupakan frekuensi kerja antena dimana pada frekuensi tersebut seluruh daya dipancarkan secara maksimal. Pada umumnya frekuensi resonansi menjadi acuan frekuensi kerja antena. Frekuensi Resonansi dirumuskan dengan :

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left[\left(\frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Pendekatan yang digunakan untuk mencari lebar antena mikrostrip dapat menggunakan persamaan :

$$W = \frac{c}{2fr\sqrt{\frac{(\epsilon_r+1)}{2}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : W = Lebar konduktor (mm)

ϵ_r = Konstanta dielektrik (P/m)

C = Kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)

Fr = Frekuensi kerja antenna (Hz)

Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dirumuskan:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : ΔL = Pertambahan panjang patch (mm)

ϵ_{reff} = Konstanta Dielektrik Efektif (P/m)

W = Lebar konduktor (mm)

h = Ketebalan Substrat (mm)

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12h/W}} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : ϵ_{reff} = Konstanta Dielektrik Efektif (P/m)

ϵ_r = Konstanta dielektrik (P/m)

W = Lebar konduktor (mm)

h = Ketebalan Substrat (mm)

Dengan demikian panjang patch (L) diberikan oleh :

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : L_p = Panjang Patch (mm)

L_{eff} = Panjang Patch Efektif (mm)

ΔL = Pertambahan panjang patch (mm)

Dimana L_{eff} Panjang elemen peradiasi efektif :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana : L_{eff} = Panjang Patch Efektif (mm)

F = Frekuensi kerja antenna (Hz)

C = Kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)

2.2.3.2 Substrat dielektriks

Substrat dielektrik merupakan bagian dari antenna mikrostrip yang berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Ketebalan *substrate* berpengaruh pada *bandwidth* dari antenna mikrostrip, dengan menambah ketebalan *substrate* dapat mempertebal *bandwidth*. (Samsul,2015)

Substrat terbuat dari bahan-bahan dielektrik. Substrat biasanya mempunyai tinggi (h) antara $0,002\lambda_0 - 0,005\lambda_0$. Berfungsi sebagai media penyalur GEM dari catuan. Karakteristik substrat sangat berpengaruh pada besar parameter-parameter antenna. Pengaruh ketebalan substrat dielektrik terhadap parameter antenna adalah pada *bandwidth*. Penambahan ketebalan substrat akan memperbesar *bandwidth*. Adapun jenis-jenis substrate sebagai berikut : (Samsul,2015)

Tabel 2.1 Jenis-jenis Substrat

ϵ_r	Bahan	Supplier
1.0	<i>Aeroweb (honeycomb)</i>	<i>Ciba Geigy, Bonded Structures Div., Duxford, Cambridge, CB2 4QD</i>
1.06	<i>Eccofoam PP-4 (flexible low-loss plastic foam sheet)</i>	<i>Emerson & Cumming Inc, Canton, Massachusetts, USA (Colville Road, Acton, London. W3 8BU, UK)</i>
1.4	<i>Thermoset microwave foam material</i>	<i>Rogers Corp., Bo 700, Chandler, AZ 85224, USA. (Mektron Circuit Systems Ltd., 119 Kingston Road, Leatherhead,</i>

		Surrey, UK)
2.1	RT Duroid 5880 (<i>microfiber Teflon glass laminate</i>)	Rogers Corp
2.32	Polyguide 165 (<i>polyolefin</i>)	Electronized Chemical Corp., Burlington, MA 01803, USA
2.52	Fluorglas 6001 1 (PTFE <i>impregnated glass cloth</i>)	Atlantic Laminates, Oak Materials Group, 174 N. Main St., Franklin, MH 0323, USA. (Walmore Defence Components, Laser House, 1321140 Goswell Road, London, ECIV 7LE)
2.62	Rexolite 200 (<i>cross-linked styrene copolymer</i>)	Atlantic Laminates
3.20	Schaefer Dielectric Material, PT (<i>polystyrene with titania filler</i>)	Marconi Electronic Devices Ltd., Radford Crescent, Billericay, Essex, CM12 ODN, UK
3.5	Kapton film (<i>copper clad</i>)	Dupont (Fortin Laminating Ltd., Unit 3, Brookfield Industrial Estate, Glossop, Derbyshire, UK)
3.75	Quartz (<i>fused silica</i>)	A & D Lee Co. Ltd., Unit 19, Marlissa Drive, Midland Oak Trading Estate, Lythalls Lane, Coventry, U
6.0	RT Duroid 6006 (ceramic-loaded PTFE)	Rogers corp.,
9.9	Alumina	Omni Spectra Inc, 24600 Hallwood Ct. Farmington, Michigan, 48024, US Omni Spectra, 50 Milford Road, eading, Berks, RGI 8LJ, UK)

10.2	RT Duroid 6010 (<i>ceramic-loaded</i> PTFE)	Rogers Corp.,
11	Sapphire	Tyco Saphikin (A & D Lee Co Ltd., Unit 19, Marlissa Drive, Midland Oak Trading Estate, Lythalls Lane, Coventry, UK)

(Sumber : Samsul,2015)

Bahan dielektrik yang di pakai pada penelitian ini adalah FR-4 adalah singkatan dari *Flame Reterdant 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.

2.2.3.3 *Ground plane*

Ground plane yaitu lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan (sumber :Teguh, dkk, 2015), *Groundplane* pada antena berpengaruh pada nilai parameter antena yaitu *Return Loss*, *VSWR*, dan *Gain*. Semakin baik bentuk *groundplane* pada antena maka akan semakin baik pula hasil parameter pada antena.

Ground plane antena mikrostrip bisa terbuat dari bahan konduktor, yang berfungsi sebagai *reflector* dari gelombang elektromagnetik. Ukurannya selebar dan sepanjang substrat. Bentuk konduktor bisa bermacam-macam tetapi yang pada umumnya digunakan adalah berbentuk persegi empat dan lingkaran karena bisa lebih mudah dianalisis.

$$L_g = 6h + L_p \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana : L_g = Lebar Groudplane (mm)

h = Ketebalan Substrat (mm)

L_p = Panjang Patch (mm)

$$W_g = 6h + W_p \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana : W_g = Lebar Groudplane (mm)

h = Ketebalan Substrat (mm)

W_p = Lebar Patch (mm)

2.2.3.4 Saluran Pencatu

Untuk menghubungkan antara elemen peradiasi antena dengan saluran transmisi, diperlukan sebuah saluran catu yang terintegrasi pada dimensi antena sehingga impedansi antara elemen peradiasi dan saluran transmisi saling matching. Pemilihan feeding untuk antena mikrostrip didasarkan pada beberapa faktor. Pertimbangan yang utama adalah transfer daya yang efisien antara struktur peradiasi dengan struktur feeding sehingga tercapai matching impedance yang baik diantara keduanya. Selain itu, kemudahan dalam mendesain dan fabrikasi juga sangat penting.

Untuk catuan ke *patch*, digunakan metode *inset microstripfeed*. Metode *inset feed* umumnya dipilih pada perancangan antena larik karena lebih sesuai untuk diterapkan dibandingkan metode *coaxial feed* yang harus melubangi *patch* dan sulit dalam pembagian daya. Metode *inset feed* juga mampu memberikan *gain* dan lebar-pita yang lebih besar dibanding *coaxial feed*.

Untuk menghitung panjang (L_f) dan lebar (W_f) Saluran Pencatu ditunjukkan oleh rumus berikut : (Teguh, dkk, 2015)

$$L_f = \frac{W}{2} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana : L_f = Panjang Patch Antena

W = Lebar konduktor (mm)

Selanjutnya untuk menentukan lebar pencatu dengan rumus berikut: (Teguh, dkk, 2015)

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana : Z_0 = Impedansi Karakteristik (Ω)

ϵ_{reff} = Konstanta Dielektrik Efektif (P/m)

W = Lebar konduktor (mm)

h = Ketebalan Substrat (mm)

Dan,

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana : B = Syarat untuk $\frac{W}{h} > 2$

ϵ_r = Konstanta dielektrik (P/m)

π = Phi (3,14)

Sehingga untuk menentukan lebar pencatu (Wf) dengan rumus berikut: (Teguh, dkk, 2015)

$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) \frac{\epsilon_r - 1}{2 \epsilon_r} 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana : Wf = Lebar pencatu antenna

B = Syarat untuk $\frac{W}{h} > 2$

ϵ_r = Konstanta dielektrik (P/m)

π = phi (3,14)

h = Ketebalan Substrat (mm)

2.2.4 Parameter-parameter Antena Mikrostrip

Ada beberapa karakter penting antenna yang perlu dipertimbangkan dalam memilih jenis antenna untuk suatu aplikasi (termasuk untuk digunakan pada sebuah teleskop radio), yaitu pola radiasi, direktivitas, gain, dan polarisasi. Karakter-karakter ini umumnya sama pada sebuah antenna, baik ketika antenna tersebut menjadi peradiasi atau menjadi penerima, untuk suatu frekuensi, polarisasi, dan bidang irisan tertentu.

2.2.4.1 Return Loss

Return Loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi. (Constantine A. Balanis : 1997)

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : Γ_L = Koefisien refleksi tegangan

V_0^- = Tegangan yang direfleksikan (Volt)

V_0^+ = Tegangan yang dikirimkan (Volt)

Z_L = Impedansi beban atau load (Ohm)

Z_0 = Impedansi karakteristik (Ohm)

$$Return\ loss = 20 \log_{10} |\Gamma| \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan menggunakan nilai $VSWR \leq 2$ maka diperoleh nilai *return loss* yang dibutuhkan adalah ≤ -10 dB. Dengan nilai ini, dapat dikatakan bahwa nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dapat dianggap *matching*. Nilai parameter ini dapat menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah mampu bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. (Surjati I, 2010)

2.2.4.2 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan terjadi pemantulan dan ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*). Dimana karakteristik ini disebut Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). (Kraus, John Daniel, 1988)

VSWR adalah 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^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ). (Surjati, Indra. 2010)

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana : Γ_L = Koefisien refleksi tegangan

V_0^- = Tegangan yang direfleksikan (Volt)

V_0^+ = Tegangan yang dikirimkan (Volt)

Z_L = Impedansi beban atau load (Ohm)

Z_0 = Impedansi karakteristik (Ohm)

Dimana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*. Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka :

- a. $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- b. $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- c. $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Persamaan untuk menentukan besarnya VSWR adalah; (Constantine A. Balanis. 1997)

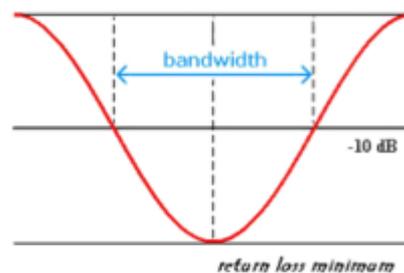
$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\tau|}{1 - |\tau|} \dots \dots \dots (2.18)$$

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. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah $VSWR \leq 2$. (Surjati, Indra. 2010)

2.2.4.3 Bandwidth

IEEE mendefinisikan *bandwidth* sebagai Rentang frekuensi di mana kinerja antenna, sehubungan dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang ditentukan. Dengan kata lain, bandwidth tergantung pada efektivitas keseluruhan antenna melalui rentang frekuensi. Definisi ini dapat berfungsi sebagai definisi praktis, namun dalam praktiknya, bandwidth biasanya ditentukan dengan mengukur karakteristik seperti SWR atau daya terpancar pada rentang frekuensi yang diinginkan (*IEEE Std 145-1993,1993*)

Bandwidth (Gambar 2.14) suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar. (*Surjati, Indra. 2010*).



Gambar 2.14 Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*

(Sumber : *Surjati, Indra. 2010*)

Bandwidth dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana : f_2 = frekuensi tertinggi

f_1 = frekuensi terendah

f_c = frekuensi tengah

Dengan f_r dirumuskan :

$$f_r = \frac{(f_2 - f_1)}{2} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana : f_r = Frekuensi resonansi (Hz)
 f_2 = Frekuensi maksimum (Hz)
 f_1 = Frekuensi minimum (Hz)
 BW = Bandwidth (Ghz)

Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya:

- Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Pada umumnya nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik masing-masing adalah kurang dari -9,54 dB dan 2.
- Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.
- Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi di mana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB.

2.2.4.4 Input Impedance

Sebuah impedansi yang masuk ke terminal antenna yang dikondisikan dalam keadaan seimbang dengan impedansi karakteristik dari saluran transmisi. Impedansi input dinyatakan dalam persamaan: (*Constantine A. Balanis : 1997*)

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana : Z_{in} = Impedansi input terminal (Ω)

Z_0 = Impedansi karakteristik dari antenna (Ω)

Γ = Koefisien refleksi

Impedansi masukan (Z_{in}) terdiri dari bagian real (R_{in}) dan imajiner (X_{in}) dapat dinyatakan : (*Balanis, 1982*)

$$Z_{in} = (R_{in} + jX_{in}) \Omega \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana : Z_{in} = Impedansi Input

R_{in} = Resistansi Input

Daya real (R_{in}) merupakan komponen yang diharapkan, yakni menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui radiasi, sementara komponen imajiner (X_{in}) menunjukkan reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena.

2.2.4.5 Penguatan (*Gain*)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* pada sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antena teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antena (P_{in}) dibagi dengan 4π . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini. (*Constantine A. Balanis : 1997*)

$$Gain = \frac{4\pi U (\theta, \phi)}{P_{in}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana : $Gain$ = *Absolute gain*

π = pi (3,14)

θ = sudut teta

ϕ = Himpunan Kosong

P_{in} = Daya yang diterima oleh Antena

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antena referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antena itu. Akan tetapi, antena referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ($P_{in(lossless)}$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut :

$$Gain = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana : Gain = Absolute gain
 π = pi (3,14)
 θ = sudut teta
 ϕ = Himpunan Kosong
 $P_{in}(lossless)$ = Sumber isotropik yang *lossless*

Jika arah tidak ditentukan, maka perolehan daya biasanya diperoleh dari arah radiasi maksimum. Gain total antenna uji secara sederhana dirumuskan oleh persamaan : (Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele, 1981)

$$G_t \text{ (dB)} = (P_t(\text{dBm}) - P_s(\text{dBm})) + G_s(\text{dB}) \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana : G_t = Gain antenna mikrostrip
 P_t = Nilai level sinyal maksimum yang diterima antenna mikrostrip
 P_s = Nilai level sinyal maksimum yang diterima GSM
 G_s = Gain GSM

2.2.4.6 Polarisasi

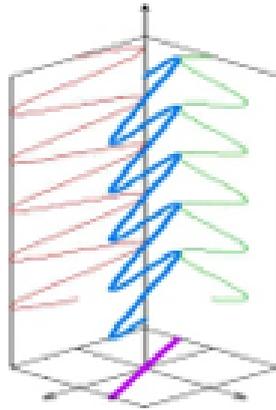
Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada praktiknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu. (Surjati I, 2010)

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier (Gambar 2.15) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan

elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi. (*Constantine A. Balanis : 1997*)

- hanya ada satu komponen, atau
- komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau 180^0 atau kelipatannya



Gambar 2.15 Polarisasi linier

(*Sumber : Surjati I, 2010*)

Polarisasi melingkar (Gambar 2.16) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil 90^0 .

Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika $d = +p / 2$, sebaliknya *RHCP* terjadi ketika $d = -p / 2$. (*Sumber : Surjati I, 2010*)

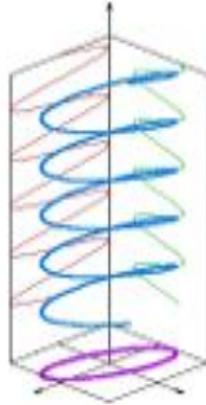


Gambar 2.16 Polarisasi melingkar

(Sumber : Surjati I, 2010)

Polarisasi elips (Gambar 2.17) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- b. Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- c. Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai 0^0 atau kelipatan 180^0 (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari 90^0 (karena akan menjadi lingkaran). (Sumber : Surjati I, 2010)



Gambar 2.17 Polarisasi Elips

(Sumber : Surjati I, 2010)

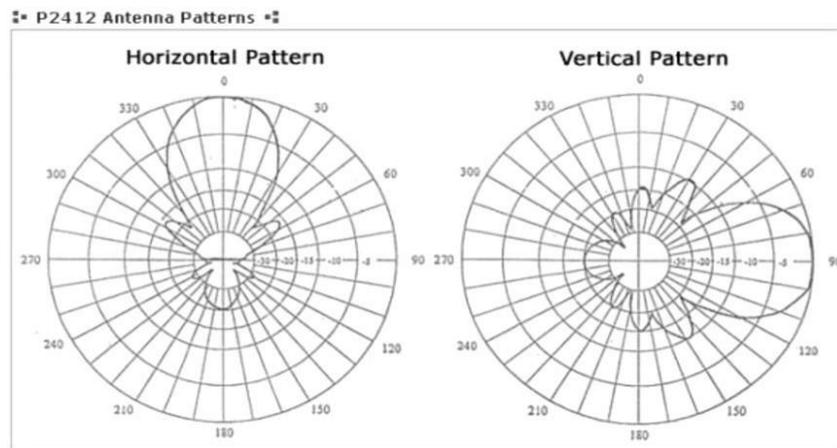
2.2.4.7 Pola Radiasi

Pola radiasi atau pola antena didefinisikan sebagai fungsi matematik atau representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi dari koordinat. Pola radiasi dapat disebut sebagai pola medan (*field pattern*) apabila yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut pola daya (*power pattern*) apabila yang digambarkan *pointing vector*. Di sebagian besar kasus, pola radiasi ditentukan di luasan wilayah dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat directional. Pola radiasi antena adalah plot 3-dimensi distribusi sinyal yang dipancarkan oleh sebuah antena, atau plot 3-dimensi tingkat penerimaan sinyal yang diterima oleh sebuah antena. Pola radiasi antena menjelaskan bagaimana antena meradiasikan energi ke ruang bebas atau bagaimana antena menerima energi. (*Constantine A. Balanis : 1997*)

Pola Radiasi sebuah antena merupakan gambaran secara grafis sifat sifat radiasi (medan jauh) antena sebagai fungsi koordinat ruang (Balanis, 1982:17). Pola radiasi ditentukan pada pola daerah medan jauh dan digambarkan sebagai fungsi koordinat sepanjang radius konstan dan digambarkan dalam koordinat ruang. Sifat-sifat radiasi meliputi intensitas radiasi, kuat medan, sudut fasa dan polarisasi. Pola radiasi antena dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu.

a. Pola Radiasi Antena *Unidirectional*

Antena *unidirectional* mempunyai pola radiasi yang terarah dan dapat menjangkau jarak yang *relative*. Gambar 2.18 merupakan gambaran secara umum bentuk pancaran yang dihasilkan oleh antena *unidirectional*.

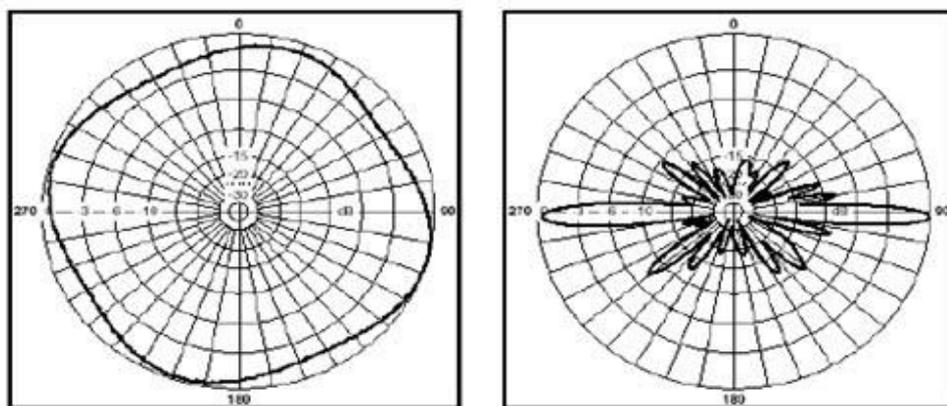


Gambar 2.18 Bentuk Pola Radiasi Antena *Unidirectional*

(Sumber : Constantine A. Balanis : 1997)

b. Pola Radiasi Antena *Omnidirectional*

Antena *omnidirectional* mempunyai pola radiasi yang digambarkan seperti bentuk kue donat (*doughnut*) dengan pusat berimpit. Antena *omnidirectional* pada umumnya mempunyai pola radiasi 360^0 jika dilihat pada bidang medan magnetnya. Gambar 2.19 merupakan gambaran secara umum bentuk pancaran yang dihasilkan oleh antena *omnidirectional*.



Gambar 2.19 Bentuk Pola Radiasi Antena *Omnidirectional*

(Sumber : Constantine A. Balanis : 1997)

2.2.5 Jarak Pengukuran

Daerah medan elektromagnetik dari sebuah antena pada prinsipnya dapat dibagi menjadi 2 (dua) daerah medan elektromagnetik yaitu daerah yang berjarak dekat dengan antena atau sering disebut dengan daerah medan dekat (*near field region*) atau Daerah Fresnel (*Fresnel Zone*) dan daerah dengan jarak yang jauh dengan antena atau sering disebut dengan daerah medan jauh (*far field region*) atau Daerah Fraunhofer (*Fraunhofer Zone*). (Kraus, 2001)

Komponen medan yang dapat diukur di daerah Fraunhofer akan bersifat transversal ke arah radial dari antena dan semua aliran daya diarahkan ke luar secara radial pula. Bentuk pola medan di daerah Fraunhofer (medan jauh) tidak tergantung jarak. Sedangkan di daerah Fresnel, komponen longitudinal medan listrik mungkin lebih signifikan dan aliran daya tidak seluruhnya radial. Bentuk pola medan di daerah Fresnel pada umumnya sangat tergantung dari jarak pengukuran dengan antena yang diukur. Dengan demikian, jika kita akan melakukan pengukuran parameter antena, letak antena yang akan diukur dengan titik pengukuran harus terletak di daerah Fraunhofer atau jarak pengukuran memenuhi persamaan (Kraus, 2001) :

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

R = Jarak antena pemancar dan antenna penerima (m)

D = Ukuran terpanjang dimensi antena (m)

λ = Panjang Gelombang frekuensi (m)

Setiap pengukuran yang dilakukan untuk parameter luar seperti gain, polarisasi, dan pola radiasi menggunakan metode pengukuran dengan jarak medan jauh atau jarak fraunhofer.

2.3 Kelebihan dan Kekurangan Antena Mikrostrip

Beberapa keuntungan antena mikrostrip adalah sebagai berikut :

- a. Mempunyai bobot yang ringan dan ukuran yang kecil

- b. Konfigurasi yang *low profile* sehingga bentuknya dapat disesuaikan dengan perangkat utamanya
- c. Biaya pabrikasi yang murah sehingga dapat dibuat dalam jumlah yang besar
- d. Mendukung polaritas linear dan sirkular
- e. Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs)
- f. Kemampuan dalam *dual frequency*
- g. Tidak memerlukan catuan tambahan

Namun, antena mikrostrip juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu :

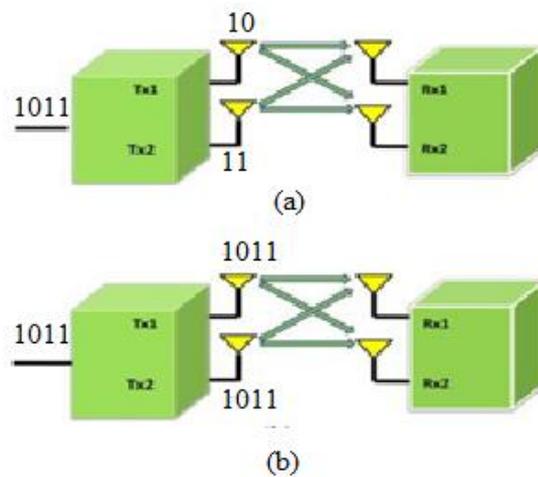
- a. *Bandwidth* yang sempit
- b. Efisiensi yang rendah
- c. Penguatan yang rendah
- d. Memiliki rugi-rugi hambatan (*ohmic loss*) pada pencatuan antena array
- e. Memiliki daya (*power*) yang rendah
- f. Timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)

2.4 Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO)

2.4.1 Teknologi MIMO

Teknologi ini kali pertama diperkenalkan oleh seorang ahli dari *Bell Laboratories* pada tahun 1984. MIMO sendiri merupakan salah satu bentuk dari Smart Antena. MIMO bekerja di dalam sistem komunikasi wireless digital. Pada sistem komunikasi tersebut gelombang yang dihasilkan akan terpantul melalui berbagai jalur atau biasa disebut multipath. Sinyal pantulan dan sinyal yang berjalan lurus akan bersifat saling menggagalkan saat sampai di sisi penerima. MIMO menggunakan sistem yang berbeda yakni dengan menggunakan antena lebih dari satu untuk penerima dan pengirimnya (*diversity*). Tidak seperti sistem antena konvensional yang sangat rentan dengan multipath, sistem MIMO justru sangat baik untuk meningkatkan data rate dalam range yang lebih besar tanpa membutuhkan bandwidth atau daya yang lebih besar.

Dengan adanya teknologi ini sistem kerja akan lebih baik dibandingkan dengan sistem teknologi SISO (Single Output Single Input). Transmisi dengan teknik MIMO mendukung konfigurasi dua atau empat antenna pengirim dan dua atau empat antenna penerima. Konfigurasi MIMO yang mungkin pada arah *downlink* adalah MIMO 2x2, MIMO 2x4, MIMO 4x2, dan MIMO 4x4. Akan tetapi UE dengan 4 antenna penerima yang dibutuhkan untuk konfigurasi MIMO 4x4 hingga saat ini masih belum diimplementasikan. Gambar dibawah ini menunjukkan konsep MIMO . (Budi Syihabuddin, 2017)



Gambar 2.20 Konfigurasi MIMO (a) *Spatial Multiplexing*, (b) *Transmit Diversity*

(Sumber : Budi Syihabuddin, 2017)

Pada umumnya teknik MIMO terdiri atas teknik *spatial multiplexing* dan *transmit diversity* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20 Teknik *spatial multiplexing* mengirim dua data yang berbeda pada masing-masing antenna pemancar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20 (a), sedangkan teknik *transmit diversity* mengirim dua data yang sama pada masing-masing antenna pemancar seperti pada Gambar 2.20 (b). Masing-masing teknik ini memiliki keuntungan tersendiri tergantung dari *scenario* yang ada. Misalnya, pada beban jaringan yang tinggi atau pada tepi sel lebih cocok menggunakan teknik *transmit diversity*. Dan pada kondisi sel kecil dengan kondisi SNR tinggi, *special multiplexing* lebih baik digunakan untuk memberikan *bit rate* yang tinggi .

Prinsip kerja dari MIMO, sistem radio lama, tidak bisa melakukan apa-apa untuk memerangi inferensi multipath, mengandalkan sinyal utama sebagai kekuatan utama :

1. Sebaliknya MIMO mengambil keuntungan dari propagasi multipath (*direct* dan *reflected* sinyal).
2. MIMO menggunakan beberapa antena untuk mengirimkan beberapa sinyal paralel.
3. Di lingkungan perkotaan, sinyal akan terpental pohon, bangunan tinggi dan mencapai penerima melalui berbagai *patch*
4. MIMO meningkatkan jangkauan, *throughput* dan keandalan.

Salah satu teknologi mendasar yang diperkenalkan bersamaan saat rilis LTE adalah *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), sistem ini termasuk bagian dari *spatial multiplexing* serta sebagai *pra-coding* dan *transmit diversity*. Prinsip dasar *spatial multiplexing* adalah mengirim sinyal dari dua atau lebih antena yang berbeda dengan aliran data yang berbeda dan dengan pemrosesan sinyal, yang berarti di penerima terjadi proses memisahkan aliran data, sehingga mampu meningkatkan data dengan faktor 2 (konfigurasi 2-by-2 antena) atau faktor 4 (konfigurasi 4-by-4 antena). Dalam *pra-coding* sinyal ditransmisikan dari antena yang berbeda yang dititikberatkan untuk memaksimalkan sinyal yang diterima dibanding noise atau *Signal to Noise Ratio (SNR)*. *Transmit diversity* mengandalkan mengirimkan sinyal yang sama dari *multiple antenna* dengan beberapa coding untuk mengeksploitasi peningkatan dari *independent fading* antara antena.

2.5 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

WiMAX adalah singkatan dari *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access* atau disingkat BWA) yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dengan jangkauan yang luas. WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA sebelumnya dengan fitur-fitur yang lebih menarik, selain itu juga memberikan kecepatan data yang tinggi. Dengan kecepatan data sampai 100Mbps.

Hal yang membedakan WiMAX dengan WiFi adalah standar teknis yang

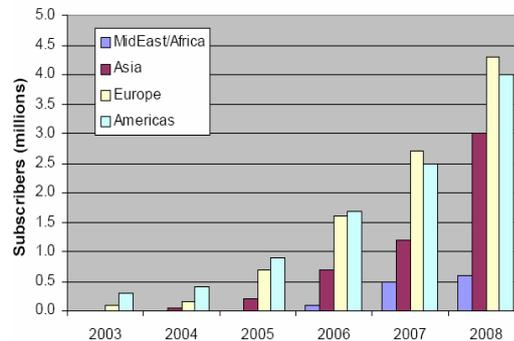
bergabung di dalamnya, jika WiFi menggabungkan standar IEEE 802.11 dengan ETSI (*European Telecommunications Standards Intitute*) HiperLAN sebagai standar teknis yang cocok untuk keperluan WLAN, sedangkan WiMAX merupakan penggabungan antara standar IEEE 802.16 dengan standar ETSI HiperMAN. Standar keluaran IEEE banyak digunakan secara luas di daerah asalnya, Amerika, sedangkan standar keluaran ETSI meluas penggunaannya di daerah Eropa dan sekitarnya. Untuk membuat teknologi ini dapat digunakan secara global, maka diciptakanlah WiMAX. (*Thomas Sri Widodo, 2008*)

2.5.1 Standarisasi WiMAX

Terobosan jaringan *internet wireless* sebentar lagi akan menjadi kenyataan. Dengan *tower* yang dipasang dipusat akses *internet (hot spot)* di tengah kota *metropolitan*, seorang pemakai *laptop*, komputer, *handphone*, hingga *personal digital assistant (PDA)*, dengan *wireless card* bisa koneksi dengan *internet*, bahkan di tengah sawah atau pedesaan yang masih dalam cakupan *area* 50 kilometer. Hal ini dapat terjadi karena teknologi *WiMAX* yang menggunakan standar baru *IEEE 802.16*. Saat ini *WiFi* menggunakan standar komunikasi *IEEE 802.11*. Yang paling banyak dipakai adalah *IEEE 802.11b* dengan kecepatan 11 Mbps, hanya mencapai cakupan *area* tidak lebih dari ratusan meter saja. *WiMAX* merupakan saluran komunikasi radio yang memungkinkan terjadinya jalur *internet* dua arah dari jarak puluhan kilometer. Dengan memanfaatkan gelombang radio, teknologi ini bisa dipakai dengan frekuensi berbeda, sesuai dengan kondisi dan peraturan pemakaian frekuensi di negara *user*.

Pada awalnya *standard IEEE 802.16* beroperasi ada frekuensi 10-66 GHz dan memerlukan *tower line of sight*, tetapi pengembangan *IEEE 802.16a* yang disahkan pada bulan Maret 2004, menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan *line-of-sight*. Cakupan *area* yang dapat *dicoverage* sekitar 50 km dan kecepatan *transfer data* sebesar 70 Mbps. Pengguna tidak akan kesulitan dalam mengulur berbagai macam kabel, apalagi *WiMAX* mampu menangani sampai ribuan pengguna sekaligus. Prediksi perkembangan pemakai yang menggunakan *WiMAX* akan terus berkembang dari

tahun ke tahun seperti terlihat pada Gambar 2.21 berikut ini.



Gambar 2.21 Grafik prediksi perkembangan penggunaan WiMAX

(Sumber : <http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)

Intel akan mulai memasang antena luar ruangan *WiMAX* sebagai tahap pengembangan *WiFi*. Teknologi *WiFi* dan *WiMAX* akan saling melengkapi. *WiFi* untuk jangkauan jarak dekat di seputar kampus atau kantor sedangkan *WiMAX* untuk memfasilitasi sebuah kota dengan akses *wireless internet*. Pada akhirnya, diperkirakan hampir semua *laptop*, *PDA*, dan piranti *information and communication technology (ICT)* lainnya akan *compatible* dengan fitur *WiFi* dan *WiMAX*.

2.5.2 Keuntungan WiMAX

Ada beberapa keuntungan dengan adanya *WiMAX*, jika dibandingkan dengan *WiFi* antara lain sebagai berikut.

1. Para produsen mikroelektronik akan mendapatkan lahan baru untuk dikerjakan, dengan membuat *chip-chip* yang lebih *general* yang dapat dipakai oleh banyak produsen perangkat *wireless* untuk membuat *BWA*-nya. Para produsen perangkat *wireless* tidak perlu mengembangkan solusi *end-to-end* bagi penggunaannya, karena sudah tersedia standar yang jelas.
2. Operator telekomunikasi dapat menghemat investasi perangkat, karena kemampuan *WIMAX* dapat melayani pelanggannya dengan area yang lebih luas dan dengan kompatibilitas yang lebih tinggi.
3. Pengguna akhir akan mendapatkan banyak pilihan dalam berinternet. *WiMAX* merupakan salah satu teknologi yang dapat memudahkan kita untuk koneksi

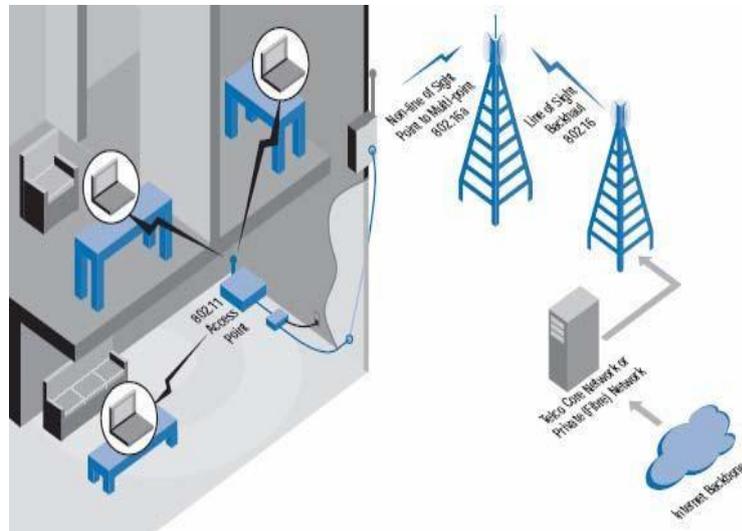
dengan *internet* secara mudah dan berkualitas.

4. Memiliki banyak fitur yang selama ini belum ada pada teknologi *WiFi* dengan standar *IEEE 802.11*. Standar *IEEE 802.16* digabungkan dengan *ETSI HiperMAN*, maka dapat melayani pangsa pasar yang lebih luas.
5. Dari segi *coverage*-nya saja yang mencapai 50 kilometer maksimal, *WiMAX* sudah memberikan kontribusi yang sangat besar bagi keberadaan *wireless MAN*. Kemampuan untuk menghantarkan data dengan *transfer rate* yang tinggi dalam jarak jauh dan akan menutup semua celah *broadband* yang tidak dapat terjangkau oleh teknologi kabel dan *digital subscriber line (DSL)*.
6. Dapat melayani para *subscriber*, baik yang berada pada posisi *line of sight (LOS)* maupun yang memungkinkan untuk tidak *line of sight (NLOS)*.

WiMAX memang dirancang untuk melayani baik para pengguna yang memakai *antenna* tetap (*fixed wireless*) maupun untuk yang sering berpindah-pindah tempat (*nomadic*). *WiMAX* tidak hanya hanya dapat melayani para pengguna dengan *antena* tetap saja misalnya pada gedung-gedung diperkantoran, rumah tinggal, tokotoko dan sebagainya. Bagi para pengguna *antenna indoor*, *notebook*, *PDA*, *PC* yang sering berpindah tempat dan banyak lagi perangkat *mobile* lainnya memang telah kompatibel dengan dengan standar-standar yang dimiliki *WiMAX*.

Perangkat *WiMAX* juga mempunyai ukuran kanal yang bersifat fleksibel, sehingga sebuah *BTS* dapat melayani lebih banyak pengguna dengan *range* spektrum frekuensi yang berbeda-beda. Dengan ukuran kanal spektrum yang dapat bervariasi ini, sebuah perangkat *BTS* dapat lebih fleksibel dalam melayani pengguna. *Range* spektrum teknologi *WiMAX* termasuk lebar, dengan didukung dengan pengaturan kanal yang fleksibel, maka para pengguna tetap dapat terkoneksi dengan *BTS* selama mereka berada dalam *range* operasi dari *BTS*. Fasilitas *quality of service (QoS)* juga diberikan oleh teknologi *WiMAX* ini. Sistem kerja *media access control* pada *data link layer* yang *connection oriented* memungkinkan digunakan untuk komunikasi *video* dan suara. Pemilik *internet service provider (ISP)* juga dapat membuat berbagai macam produk yang dapat dijual dengan memanfaatkan fasilitas ini, seperti membedakan kualitas servis

antara pengguna rumahan dengan pengguna tingkat perusahaan, membuat *bandwidth* yang bervariasi, fasilitas tambahan dan masih banyak lagi.



Gambar 2.22 Sebuah *BTS* WiMAX Dapat digunakan Sebagai *Backhaul* Untuk Titik-Titik *Hotspot*

(Sumber : <http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)

Standar *IEEE* 802.16 merupakan keluaran dari organisasi *IEEE*, sama seperti *IEEE* 802.11 adalah standar yang dibuat khusus untuk mengatur komunikasi lewat media *wireless*. Yang membedakannya adalah *WiMAX* mempunyai tingkat kecepatan *transfer* data yang lebih tinggi dengan jarak yang lebih jauh, sehingga kualitas layanan dengan menggunakan komunikasi ini dapat digolongkan ke dalam kelas *broadband*. Standar ini sering disebut *air interface for fixed broadband wireless access system* atau *interface* udara untuk koneksi *broadband*.

Sebenarnya standarisasi *IEEE* 802.16 ini lebih banyak mengembangkan hal-hal yang bersifat teknis dari *layer physical* dan *layer datalink (MAC)* dari sistem komunikasi *BWA*. Versi awal dari standar 802.16 ini dikeluarkan oleh *IEEE* pada tahun 2002. Pada versi awalnya, perangkat 802.16 beroperasi dalam lebar frekuensi 10-66 GHz dengan jalur komunikasi antar perangkatnya secara *line of sight (LOS)*. *Bandwidth* yang diberikan oleh teknologi ini sebesar 32-134 Mbps dalam *area coverage* maksimal 5 kilometer. Kapasitasnya dirancang mampu menampung ratusan pengguna setiap satu *BTS*. Dengan kemampuan semacam ini teknologi

perangkat yang menggunakan standar 802.16 cocok digunakan sebagai penyedia koneksi *broadband* melalui *media wireless*.

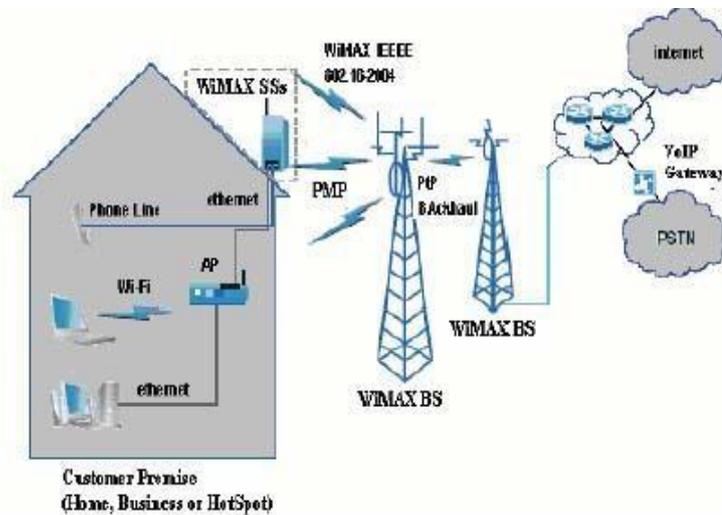
2.5.3 Topologi Jaringan WiMAX

Topologi jaringan WiMAX dapat dibagi menjadi dua kategori besar yaitu Point to Multi Point (PMP) dan Point to Point (P2P) serta dikembangkan menjadi jaringan berbentuk mesh. Pada topologi mesh, BS digunakan sebagai interface ke core network sementara untuk menjangkau pelanggan yang berada di luar jangkauan suatu BS, terminal pelanggan atau CPE dapat bertindak sebagai router atau repeater bagi terminal pelanggan lainnya. Tentunya pelanggan di sini akan menjadi lebih kompleks karena harus dilengkapi dengan kemampuan routing. Melalui cara ini akan diperoleh penambahan coverage jaringan secara signifikan. Namun dalam pengembangannya, topologi mesh merupakan topologi optional yang berarti tidak harus diadopsi dalam sistem WiMAX.

Topologi PMP biasanya digunakan untuk melayani akses langsung ke pelanggan. Dalam topologi ini BS WiMAX digunakan menghandle beberapa SS. Kemampuan dari subscriber tergantung dari tipe QoS yang ditawarkan oleh operator. Bila setiap SS mendapatkan bandwidth yang cukup besar maka dapat disimpulkan bahwa jumlah user juga akan semakin berkurang dan sebaliknya bila bandwidth dialokasikan semakin sedikit maka kapasitasnya akan semakin besar. Sedangkan topologi P2P dapat digunakan untuk backhaul maupun dapat juga digunakan untuk komunikasi antara BS WiMAX dengan single SS.

2.5.4 Konfigurasi Umum Jaringan WIMAX

Konfigurasi jaringan akses WIMAX terdiri dari BS (*Base Station*), *Subscriber Station* dan *transport site*. *Base Station* dihubungkan secara *point-to-multipoint* untuk melayani pelanggan sampai radius beberapa puluh kilometer tergantung pada frekuensi, daya pancar dan sensitivitas penerima. *Base Station* biasanya biasanya satu lokasi dengan jaringan operator (jaringan IP / internet atau jaringan TDM/PSTN). Sedangkan *Subscriber Station* terdapat di pelanggan berupa *fixed*, *portable* maupun *mobile*. Konfigurasi jaringan WiMAX dapat dilihat pada gambar 2.23 berikut :



Gambar 2.23 Konfigurasi Umum Jaringan WiMAX

(Sumber : <http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)

Keterangan :

AP : *Access Point*

SSs : *Subscriber station*

BS : *Base Station*

PMP : *Point to Multipoint*

PtP : *Point to Point*

Konfigurasi jaringan WiMAX pada gambar 2.25 merupakan konfigurasi untuk jenis pelanggan yang *fixed* atau tidak bergerak maupun bergerak tetapi dengan pergerakan yang terbatas atau *limited mobility*.

Elemen jaringan WiMAX terdiri atas :

1. SSs (*Subscriber Station*)

Subscriber Station atau *customer premise equipment* (CPE) merupakan perangkat yang berada di pelanggan dan terdiri dari tiga bagian utama yaitu : modem, radio dan antena. Modem merupakan antarmuka antara jaringan pelanggan dan *broadband access network*. Sedangkan radio merupakan antarmuka antara modem dan antena. Ketiga bagian tersebut dapat terpisah, terintegrasi per bagian atau terintegrasi penuh dalam satu atau dua perangkat. SSs (*Subscriber*

Station) dapat berupa : pelanggan bisnis, perkantoran, dan perumahan yang merupakan layanan *first mile* untuk *public network*.

2. BS (*Base Station*) equipment

BS merupakan perangkat *transceiver* yang berhubungan dari atau ke pelanggan. *Base Station* terdiri dari satu atau lebih radio *transceiver*, dimana setiap radio *transceiver* terhubung ke beberapa CPE didalam area sektorisasi. Radio modem terhubung dengan *multiplexer* , contohnya adalah *switch*, dimana pada *switch* terjadi pengumpulan trafik dari berbagai sektor dan meneruskan trafik tersebut ke *router* yang menyediakan koneksi ke jaringan ISP.

Sedangkan konfigurasi jaringan WiMAX untuk aplikasi MAN (*Metropolitan Area Network*) adalah sebagai berikut :



Gambar 2.24 Konfigurasi Umum Jaringan WiMAX untuk Aplikasi MAN

(Sumber : <http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)

Untuk aplikasi MAN, topologi jaringan yang digunakan adalah gabungan dari topologi Point to Point, Point to Multipoint maupun mesh. Jumlah *base station* lebih dari satu buah untuk mencakup wilayah MAN dengan jumlah *subscriber station* ratusan. Topologi Point to Point digunakan untuk menghubungkan *base station* dengan *base station* sebagai backhaul. Sedangkan topologi Point to Multipoint digunakan untuk menghubungkan *base station* dengan pelanggan.

Proses hubungan antara BS dan SSs WiMAX adalah sebagai berikut :

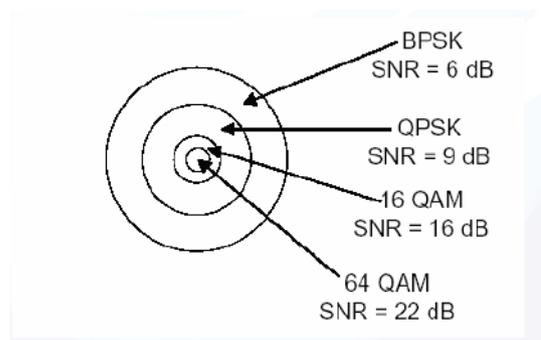
1. Pelanggan atau SSs (*subscriber station*) mengirimkan data dengan

kecepatan maksimal sampai 75Mbps ke BS (*base station*).

2. *Base station* akan menerima sinyal dari pelanggan dan mengirimkan sinyal tersebut ke *switching center* dengan protokol IEEE 802.16d melalui jaringan *wireless* atau kabel.
3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* (ISP) atau *public switched telephone network* (PSTN). (Sumber : <http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)

2.5.5 Modulasi

WiMAX yang menggunakan standar IEEE802.16d didukung oleh 4 skema modulasi yang berbeda yaitu : BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM. Modulasi yang digunakan merupakan modulasi adaptif yang memungkinkan sistem WiMax menambahkan skema modulasi sinyal tergantung dari kondisi SNR (*Signal to Noise ratio*) pada link radio. Pada saat link radio mengalami peningkatan kualitas, maka skema modulasi yang tertinggi akan dipergunakan, dan akan memberikan kapasitas yang lebih besar pada sistem. Selama terjadi fading sinyal (yang berarti menurunnya kualitas pada link radio), sistem WiMax dapat bergeser ke arah skema modulasi yang lebih rendah untuk menjaga kualitas hubungan pada link radio dan kestabilan link. (Sumber:<http://www.scribd.com/doc/47849388/Wimax>)



Gambar 2.25 Radius Sel Berdasarkan Skema Modulasi

(Sumber : Gunawan Wibisono dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009)

2.5.6 Spektrum Frekuensi WIMAX

Sebagai teknologi yang berbasis pada frekuensi, kesuksesan WiMAX sangat bergantung pada ketersediaan dan kesesuaian spektrum frekuensi. Sistem wireless

mengenal dua jenis band frekuensi yaitu Licensed Band dan Unlicensed Band. Licensed band membutuhkan lisensi atau otoritas dari regulator, yang mana operator yang memperoleh licensed band diberikan hak eksklusif untuk menyelenggarakan layanan dalam suatu area tertentu. Sementara Unlicensed Band yang tidak membutuhkan lisensi dalam penggunaannya memungkinkan setiap orang menggunakan frekuensi secara bebas di semua area.

WiMAX Forum menetapkan 2 band frekuensi utama pada certification profile untuk Fixed WiMAX (band 3.5 GHz dan 5.8 GHz), sementara untuk Mobile WiMAX ditetapkan 4 band frekuensi pada system profile release-1, yaitu band 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz dan 3.5 GHz.

Secara umum terdapat beberapa alternatif frekuensi untuk teknologi WiMAX sesuai dengan peta frekuensi dunia. Dari alternatif tersebut band frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi mayoritas Fixed WiMAX di beberapa negara, terutama untuk negara-negara di Eropa, Canada, Timur-Tengah, Australia dan sebagian Asia. Sementara frekuensi yang mayoritas digunakan untuk Mobile WiMAX adalah 2,5 GHz. Frekuensi yang digunakan di PT WIGO adalah 2,3GHz-2,7GHz.

Isu frekuensi Fixed WiMAX di band 3,3 GHz ternyata hanya muncul di negara-negara Asia. Hal ini terkait dengan penggunaan band 3,5 GHz untuk komunikasi satelit, demikian juga dengan di Indonesia. Band 3,5 GHz di Indonesia digunakan oleh satelit Telkom dan PSN untuk memberikan layanan IDR dan broadcast TV. Dengan demikian penggunaan secara bersama antara satelit dan wireless terrestrial (BWA) di frekuensi 3,5 GHz akan menimbulkan potensi interferensi terutama di sisi satelit. (*Gunadi Dwi Hantoro, 2008*)

2.6 CST Studio Suite

2.4.1 Pengertian CST Studio Suite

CST STUDIO SUITE adalah paket perangkat lunak yang dapat mensimulasikan dan menyelesaikan semua masalah elektromagnetik mulai dari frekuensi rendah ke microwave dan optik serta termal dan beberapa masalah mekanis. Terdapat 7 menu kerja antara lain:

1. Microwave Studio: untuk masalah RF dan Microwave seperti desain antenna

2. EM Studio: untuk masalah dengan frekuensi rendah seperti RFID, elektrostatik, magnetostatik, dll.
3. Desain Studio: alur kerja skematik untuk merancang sirkuit bercahaya dan juga bergabung dengan hasil studio lain untuk merancang sistem perakitan
4. Studio: untuk partikel dan simulasi pancaran seperti e-Gun, tabung microwave, dll.
5. MPHYSISCS Studio: untuk beberapa simulasi mekanik dan termal
6. Cable Studio: untuk desain dan simulasi kabel dalam bundel, harness, dll.
7. PCB Studio: untuk simulasi PI dan SI pada PCB berlapis-lapis.