

BAB II

DASAR TEORI

Antena merupakan komponen yang sangat penting untuk mendukung sistem komunikasi nirkabel karena antena berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik yang di dalamnya terkandung sinyal informasi. Selain itu, antena merupakan media peralihan antara ruang bebas dengan saluran transmisi (Balanis, 1982:1).

2.1 Parameter Dasar Antena

Untuk menggambarkan performa dari suatu antena maka diperlukan pendefinisian berbagai parameter antena. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan untuk menggambarkan performa antena secara keseluruhan (Balanis, 2005:27).

Beberapa parameter antena yang perlu dan penting untuk diketahui dalam perancangan sebuah antena antara lain : impedansi terminal antena, VSWR, RL, *bandwidth*, pola radiasi, polarisasi, *directivity* dan *gain*.

2.1.1 Impedansi Terminal Antena

Impedansi terminal antena didefinisikan sebagai impedansi yang ditimbulkan antena pada terminalnya, yang dinyatakan dengan persamaan (Balanis, 2005:80) :

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2-1)$$

dengan :

Z_A = impedansi terminal antena (Ω)

R_A = resistansi terminal antena (Ω)

X_A = reaktansi terminal antena (Ω)

Oleh karena menggunakan saluran mikrostrip, maka resistansi antena mikrostrip merupakan resistansi rugi-rugi pada saluran mikrostrip. Resistansi rugi-rugi pada antena mikrostrip sama dengan resistansi rugi-rugi pada antena konvensional, yaitu terdiri dari rugi konduktor dan rugi radiasi, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_A = R_r + R_S \quad (2-2)$$

dengan :

R_A = resistansi terminal antena (Ω)

R_r = resistansi radiasi (Ω)

R_S = resistansi konduktor (Ω)

Impedansi antena juga dapat diperoleh dari koefisien pantul yang dinyatakan dengan persamaan (Edgar Hund, 1989:44) :

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \right| \quad (2-3)$$

Sehingga diperoleh impedansi antena, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{ant} = Z_c \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) \quad (2-4)$$

dengan :

Z_{ant} = impedansi antena (Ω)

Z_c = impedansi karakteristik (Ω)

Γ = koefisien pantul

2.1.2 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR antena didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan minimum gelombang berdiri pada saluran transmisi. Nilai VSWR dapat dinyatakan dengan persamaan (Edgar Hund, 1989:43) :

$$\text{VSWR} = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{V_o^+ + V_o^-}{V_o^+ - V_o^-} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-5)$$

Koefisien pantul antena didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan gelombang pantul dengan tegangan gelombang datang. Nilai koefisien pantul dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{\text{VSWR} - 1}{\text{VSWR} + 1} \quad (2-6)$$

dengan :

V_o^- = tegangan gelombang pantul

V_o^+ = tegangan gelombang datang

Untuk *matching* sempurna antara *transmitter* dan antenna, maka nilai VSWR=1, yang berarti semua sinyal keluaran transmitter dipancarkan oleh antenna dan tidak ada sinyal yang dipantulkan. Namun kondisi seperti ini pada kenyataannya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, standar nilai VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi adalah $1 < \text{VSWR} < 2$.

2.1.3 RL (Return Loss)

RL antenna didefinisikan sebagai salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Nilai RL dapat dinyatakan dengan persamaan (Punit, 2004:19) :

$$\text{RL} = 20 \cdot \log|\Gamma| \quad (2-7)$$

Untuk *matching* sempurna antara *transmitter* dan antenna, maka nilai $\Gamma = 0$ dan $\text{RL} = \infty$ yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika $\Gamma = 1$ dan $\text{RL} = 0$ dB maka semua daya dipantulkan. Namun kondisi seperti ini pada kenyataannya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, standar nilai RL yang diijinkan untuk fabrikasi adalah $\text{RL} < -10$ dB.

2.1.4 Bandwidth

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana pada frekuensi tersebut antenna dapat bekerja secara optimal. Untuk antenna *broadband*, *bandwidth* dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dengan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja. Untuk antenna *narrowband*, *bandwidth* dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi atas dan bawah terhadap frekuensi tengah dalam rentang frekuensi kerja.

Untuk persamaan *bandwidth* dalam persen (B_p) atau sebagai *bandwidth* rasio (B_r) dinyatakan dengan persamaan (Punit, 2004:22) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-8)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (2-9)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-10)$$

dengan :

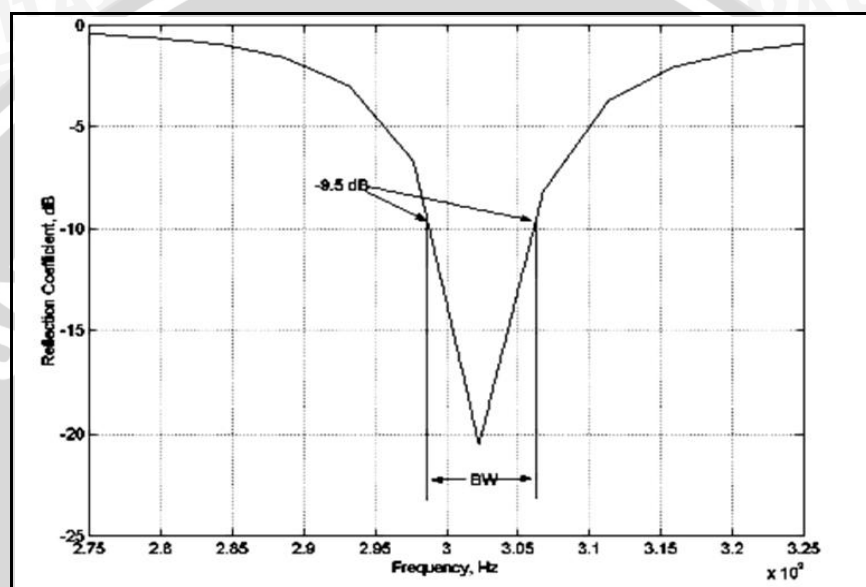
B_p = bandwidth dalam persen (%)

B_r = bandwidth rasio

f_u = frekuensi atas (Hz)

f_l = frekuensi bawah (Hz)

Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth*, dapat dilakukan dengan mengukur rentang frekuensi dengan batasan -10 dB pada grafik *return loss*, yang dapat dilihat pada Grafik 2.1.

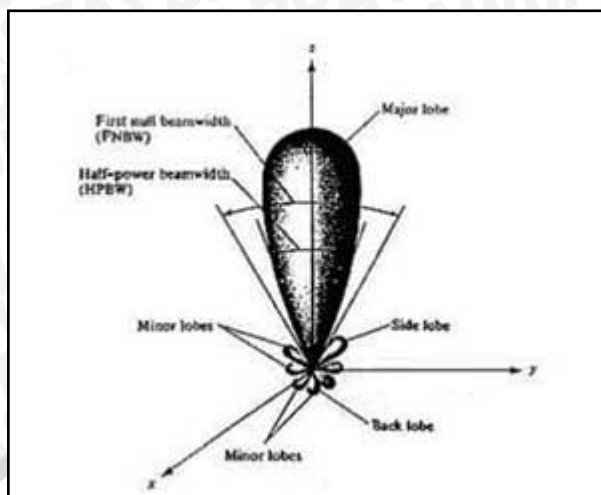


Grafik 2.1 Grafik Pengukuran *Bandwidth* Berdasarkan *Plot Return Loss*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:22

2.1.5 Pola Radiasi

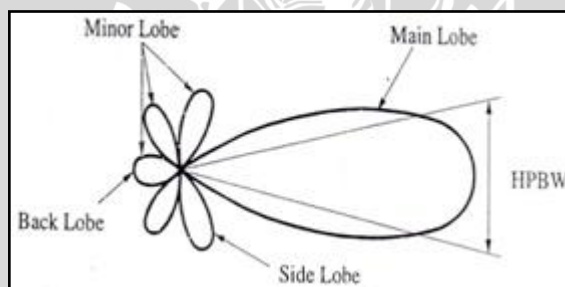
Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai gambaran grafis dari sifat-sifat radiasi antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Sifat-sifat radiasi antenna meliputi intensitas radiasi, kuat medan, dan *directivity*.



Gambar 2.1 Pola Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 2005:3

Pola radiasi terdiri dari bagian-bagian yang disebut *lobe*, yang dikelompokkan ke dalam *main lobe* dan *minor lobe* (*side lobe* dan *back lobe*). Adapun untuk pembagian *lobe* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Lobe-lobe Pola Radiasi

Sumber : Balanis, 1997:31

- *Main Lobe* : Bagian dari daerah radiasi yang arah radiasinya maksimum.
- *Minor lobe* : Bagian dari daerah radiasi yang arah radiasinya tidak diinginkan.
- *Back lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.
- *Side lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*.
- HPBW (*Half Power Beamwidth*) : sudut antara dua titik dimana pada titik tersebut merupakan setengah daya maksimum pada *main lobe*.
- FNBW (*First Null Beamwidth*) : sudut antara dua titik dimana pada titik tersebut merupakan pancaran daya pertama pada *main lobe*.

Pola radiasi antena dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat dengan daya pada sudut tertentu, yang dapat dinyatakan dengan persamaan (Balanis, 1982) :

$$P(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T} \quad (2-11)$$

$$P(dB) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \quad (2-12)$$

dengan :

P = pola radiasi antenna pada sudut tertentu (dB)

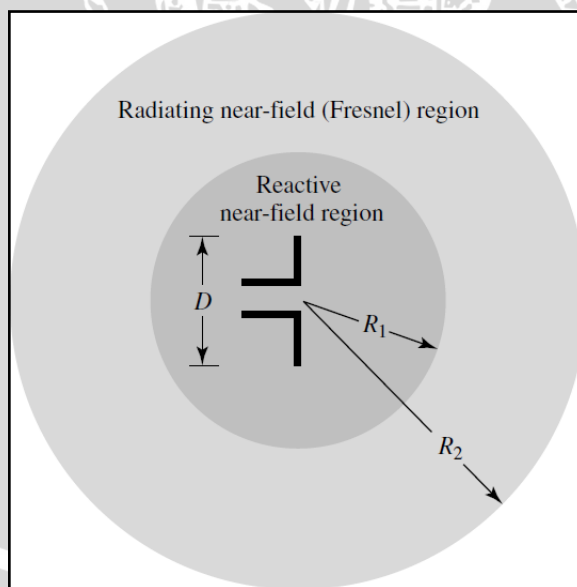
P_o = daya yang diterima antenna pada sudut 0° (watt)

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* dinamakan *Beamwidth*. *Half Power Beamwidth* (HPBW) didefinisikan sebagai sudut antara dua titik dimana pada titik tersebut merupakan setengah daya maksimum pada *main lobe*.

2.1.6 Daerah Medan Radiasi

Daerah medan radiasi antenna didefinisikan sebagai daerah di mana radiasi antenna tersebut masih dapat diterima dengan baik. Daerah medan radiasi ini disebut juga jangkauan sinyal dari suatu antenna, yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 2005:34

Adapun daerah medan radiasi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$r_1 = 0,62 \sqrt{D^3 / \lambda} \quad (2-13)$$

$$r_2 = 2D^2/\lambda \quad (2-14)$$

dengan :

r = jarak medan radiasi (m)

λ = panjang gelombang (m)

D = dimensi antenna (m)

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Zone*

Reactive Near-Field Zone merupakan daerah medan yang medan radiasi reaktifnya sangat berpengaruh.

Batas daerah ini :

$$r < 0,62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (2-15)$$

- *Radiating Near-Field (Fresnel) Zone*

Radiating Near-Field (Fresnel) Zone merupakan daerah medan yang medan radiasi reaktifnya masih berpengaruh dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) bergantung pada jarak dari antenna.

Batas daerah ini :

$$0,62\sqrt{D^3/\lambda} \leq \text{daerah Fresnel} < 2D^2/\lambda \quad (2-16)$$

- *Far-Field (Franhouffer) Zone*

Far-Field (Franhouffer) Zone merupakan daerah medan yang medan radiasi reaktifnya tidak berpengaruh dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) tidak bergantung pada jarak dari antenna.

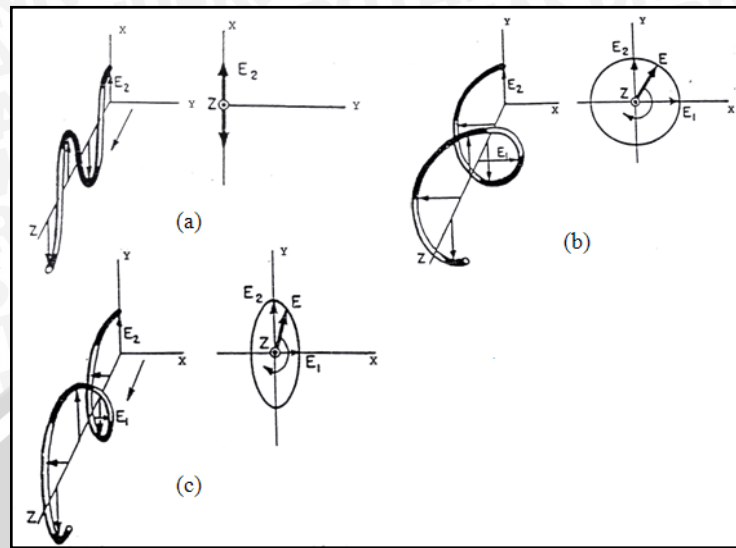
Batas daerah ini :

$$2D^2/\lambda \leq r < \infty \quad (2-17)$$

2.1.7 Polarisasi

Polarisasi antenna didefinisikan sebagai keadaan radiasi gelombang elektromagnetik yang dilukiskan dalam variasi waktu terhadap besar vektor medan elektrik. Jika antenna sebagai pemancar, maka polarisasi dapat diartikan sebagai polarisasi pada arah tertentu dari gelombang yang dipancarkan oleh antenna yang menghasilkan daya pancar maksimum. Jika antenna sebagai penerima, maka polarisasi dapat diartikan sebagai polarisasi pada arah tertentu dari gelombang datang yang

menghasilkan daya terima maksimum. Terdapat tiga tipe polarisasi: polarisasi linier (*linear*), lingkaran (*circular*) dan elips (*elliptical*), yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) Polarisasi Linier, (b) Polarisasi Lingkaran, (c) Polarisasi Elips

Sumber : J. Herman, 1986:1.43

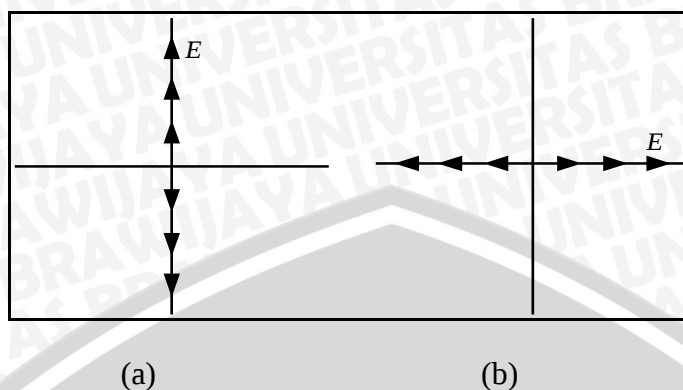
Polarisasi linier merupakan polarisasi yang terjadi jika vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan sepanjang garis lurus sebagai fungsi waktu. Polarisasi linier ditentukan oleh posisi dan arah medan elektrik terhadap *ground* atau permukaan bumi sebagai acuan. Ketika medan elektrik sejajar dengan *ground*, maka disebut polarisasi horizontal dan ketika medan elektrik tegak lurus dengan *ground*, maka disebut polarisasi vertikal. Polarisasi lingkaran merupakan polarisasi yang terjadi jika vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan membentuk suatu lingkaran sebagai fungsi waktu. Polarisasi elips merupakan polarisasi yang terjadi jika vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan membentuk kedudukan elips sebagai fungsi waktu.

2.1.7.1 Polarisasi Linier

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi linier apabila vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan sepanjang garis lurus sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan elektrik memiliki :

- Satu komponen saja, atau
- Dua komponen *orthogonal linear* yang mempunyai perbedaan fasa sebesar 180° (atau kelipatannya).

Untuk mengetahui lebih jelas tentang polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 (a) Polarisasi Linier Vertikal, (b) Polarisasi Linier Horizontal

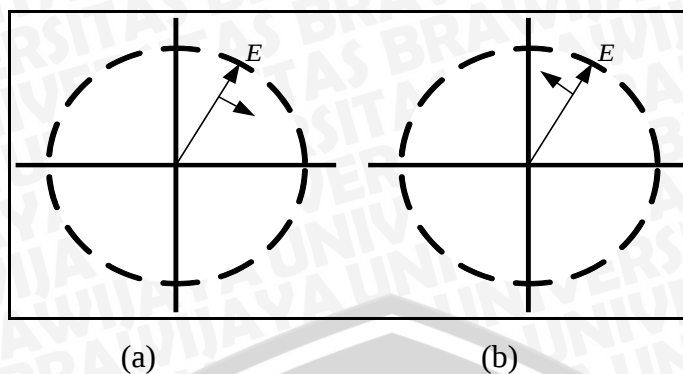
Sumber : Punit S. Nakar, 2004:21

2.1.7.2 Polarisasi Lingkaran

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi lingkaran apabila vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan membentuk suatu lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan elektrik memiliki :

- Dua komponen *orthogonal linear*, dan
- Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama, dan
- Kedua komponen harus mempunyai perbedaan fasa sebesar perkalian ganjil dari 90° (atau kelipatannya).

Penentuan arah rotasi selalu ditentukan dengan merotasi komponen yang fasanya mendahului terhadap komponen yang fasanya tertinggal. Jika rotasinya searah jarum jam, maka disebut polarisasi lingkaran kaidah tangan kanan (*Right Hand Circular Polarization*). Jika rotasinya berlawanan arah jarum jam, maka disebut polarisasi lingkaran kaidah tangan kiri (*Left Hand Circular Polarization*). Untuk mengetahui lebih jelas tentang *Right Hand Circular Polarization* dan *Left Hand Circular Polarization* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 (a) *Right Hand Circular Polarization*, (b) *Left Hand Circular Polarization*

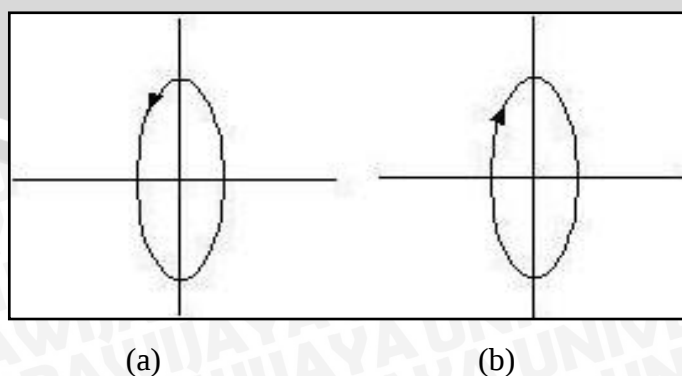
Sumber : Punit S. Nakar, 2004:21

2.1.7.3 Polarisasi Elips

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi elips apabila vektor medan elektrik pada suatu titik selalu diorientasikan membentuk kedudukan elips sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan elektrik memiliki :

- Dua komponen *orthogonal linear*, dan
- Kedua komponen dapat memiliki besaran yang sama atau berbeda.
- (1) Jika kedua komponen memiliki besaran yang berbeda, perbedaan fasa diantara keduanya tidak boleh kelipatan 180° (karena akan bersifat seperti polarisasi linier).
(2) Jika kedua komponen memiliki besaran yang sama, perbedaan fasa diantara keduanya tidak boleh kelipatan bilangan ganjil dari 90° (karena akan bersifat seperti polarisasi lingkaran).

Penentuan arah rotasi pada polarisasi elips menggunakan aturan yang sama seperti penentuan arah rotasi pada polarisasi lingkaran. Untuk mengetahui lebih jelas tentang *Right Hand Elliptical Polarization* dan *Left Hand Elliptical Polarization* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 (a) *Right Hand Elliptical Polarization*, (b) *Left Hand Elliptical Polarization*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:21

2.1.7.4 Proses Pembentukan *Axial Ratio*

Perbandingan antara mayor dan minor *axes* pada polarisasi ellips disebut dengan *Axial Ratio* (AR)

$$AR = \frac{E_1}{E_2} \quad (2-18)$$

Jika $AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx \text{tak hingga} \rightarrow \text{polarisasi linier}$

$AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx 1 \rightarrow \text{polarisasi lingkaran}$

$AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx \text{berada di antara 1 – tak hingga} \rightarrow \text{polarisasi ellips}$

2.1.8 *Directivity*

Directivity antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi antenna pada suatu arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata dari segala arah. Intensitas radiasi rata-rata sebanding dengan total daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π . Dengan kata lain *directivity* adalah kemampuan suatu antenna untuk mengkonsentrasikan energinya pada satu arah tertentu. Secara sederhana, *directivity* sumber *non-isotropic* sebanding dengan rasio intensitas radiasinya pada suatu arah tertentu terhadap intensitas radiasi sumber isotropis.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2-19)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud menyatakan arah dari intensitas radiasi maksimum yang dinyatakan dengan persamaan (Balanis, 1982:494) :

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = 10 \log \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \quad (2-20)$$

dengan :

D_0 = *directivity* (dB)

$U_{\max}$ = intensitas radiasi maksimum (watt)

P_{rad} = daya radiasi total (watt)

Nilai *directivity* sebuah antenna dapat diketahui dari pola radiasi antenna tersebut. Semakin sempit *main lobe* maka *directivity* semakin baik dibanding *main lobe* yang

lebih lebar. Nilai *directivity* jika dilihat dari pola radiasi sebuah antena dapat dinyatakan dengan persamaan (Balanis, 1982 : 20)

$$D = 10 \log \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2}{\theta_1 \theta_2} \quad (2-21)$$

$$D = \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2}{\theta_1 \theta_2} = \frac{41252,96125}{\theta_1 \theta_2} \quad (2-22)$$

dengan :

D = *directivity*

θ_1 = lebar berkas daya pada bidang xz ($^\circ$)

θ_2 = lebar berkas daya pada bidang yz ($^\circ$)

2.1.9 Gain

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan performa suatu antena adalah *gain* (penguatan). Meski *gain* antena erat kaitannya dengan *directivity*, *gain* adalah pengukuran yang memperhitungkan efisiensi antena maupun keterarahannya. *Gain* antena dibedakan atas : *absolute gain* dan *relative gain*.

Absolute gain antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antena diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi dari daya yang diradiasikan secara isotropis sebanding dengan daya yang diterima (pada terminal input) antena dibagi dengan 4π . *Absolute gain* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input power}} = 4\pi \frac{I(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (2-23)$$

Sedangkan *relative gain* antena didefinisikan sebagai perbandingan antara penguatan daya pada arah tertentu dengan penguatan daya antena referensi dalam arah acuannya (dengan catatan bahwa kedua antena mempunyai daya masukan yang sama). Untuk *relative gain*, antena referensi yang digunakan berupa antena sumber isotropis tanpa rugi, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{4\pi I(\theta, \varphi)}{P_{in}(\text{lossless isotropic source})} \quad (2-24)$$

Pada prakteknya pengukuran gain dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antenna referensi (biasanya antenna *dipole* standar) yang sudah diketahui nilai *gain*-nya (Stutzman, 1981: 39) sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = G_R \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-25)$$

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-26)$$

$$G(dB) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R} \quad (2-27)$$

$$G = 2,15 + P_U(dBm) - P_R(dBm) \quad (2-28)$$

dengan :

G = *gain* antenna uji (dB)

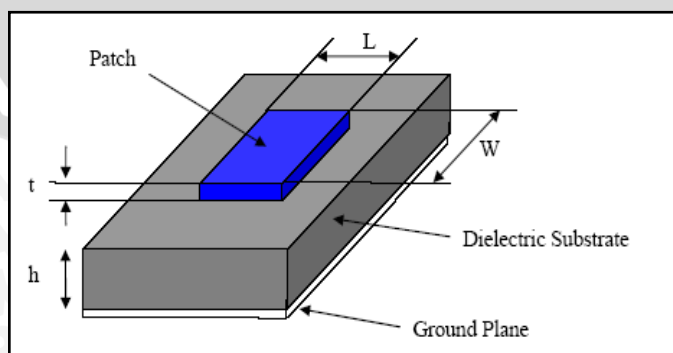
G_R = *gain* antenna referensi (dB)

P_U = daya yang diterima antenna uji (dBm)

P_R = daya yang diterima antenna referensi (dBm)

2.2 Bentuk Umum Antena Mikrostrip

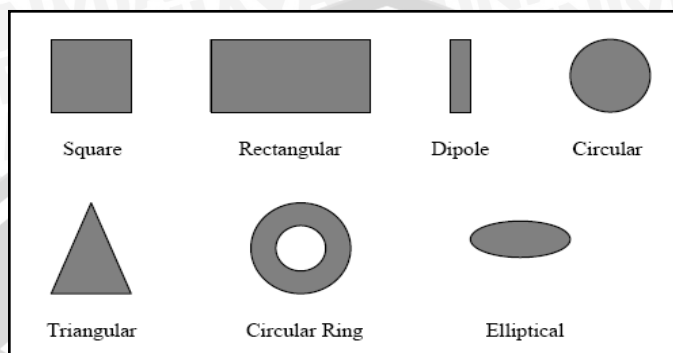
Pada dasarnya antenna mikrostrip terdiri atas lapisan peradiasi (*patch*) yang berada pada suatu bahan dielektrik (*dielectric substrate*) yang mempunyai bidang pentanahan (*ground plane*) pada salah satu sisinya. Lapisan peradiasi pada umumnya terbuat dari bahan penghantar / konduktor dan dapat memiliki bentuk yang bermacam-macam. Lapisan peradiasi dan saluran transmisi biasanya dicetak diatas bahan dielektrik. Struktur antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur Antena Mikrostrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:31

Setiap bahan dielektrik memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berkisar antara $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$, misalnya *teflon RT / duroid*, *alumina* atau *FR4* dengan *loss tangent* dari 0,0001 sampai 0,018. Untuk mempermudah dalam menganalisis kinerja antena, lapisan peradiasi umumnya berbentuk kotak, persegi, lingkaran, segitiga, elips atau bentuk umum lainnya, yang dapat dilihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Macam-macam Bentuk Elemen Mikrostrip

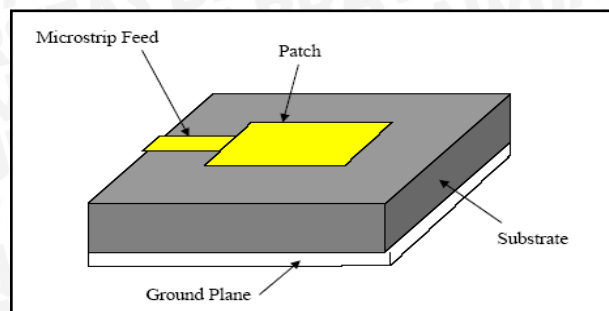
Sumber : Punit S. Nakar, 2004:32

2.3 Teknik Pencatutan Antena Mikrostrip

Teknik *feed* atau pencatutan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena mikrostrip. *Patch* antena mikrostrip dapat dicatu dengan berbagai macam metode. Metode-metode tersebut dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori : metode kontak langsung (*contacting method*) dan metode kontak tak langsung (*non-contacting method*). Dalam *contacting method*, daya RF dicatu secara langsung ke *patch* peradiasi melalui saluran mikrostrip, sedangkan *non-contacting method*, daya RF tidak dicatu secara langsung ke *patch* peradiasi namun menggunakan kopling medan elektromagnet sebagai elemen penghubung. Ada 4 teknik pencatutan yang umum digunakan yaitu *microstrip line*, *coaxial feed* (keduanya menggunakan skema kontak langsung), *aperture coupling* dan *proximity coupling* (keduanya menggunakan skema kontak tak langsung).

2.3.1 Microstrip Line Feed

Pada tipe pencatutan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian tepi *patch* mikrostrip. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen peradiasi antena mikrostrip, seperti terlihat pada lebih jelasnya Gambar 2.10.



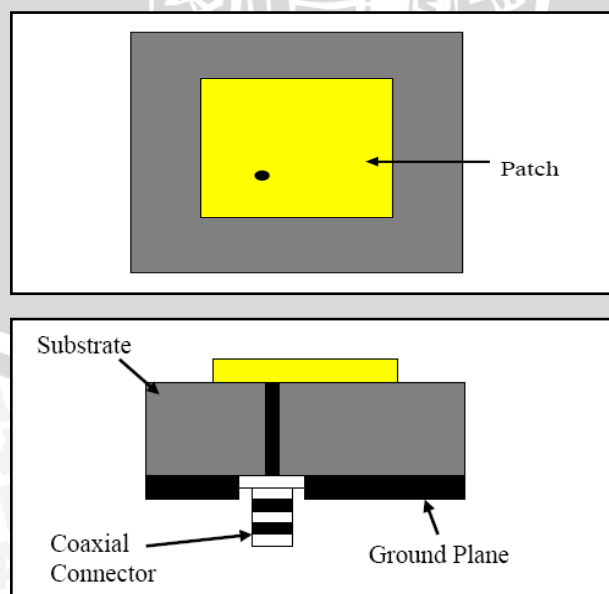
Gambar 2.10 *Microstrip Line Feed*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:34

Teknik pencatutan ini dapat dikembangkan dengan cara memberikan potongan menjorok (*inset*) ke dalam *patch*. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan impedansi saluran dengan *patch* tanpa memerlukan elemen penyesuai tambahan. Hal ini dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *inset* yang benar. Oleh karena itu metode *Microstrip Line Feed* secara umum menawarkan skema pencatutan yang mudah disamping kemudahan dalam proses pembuatan dan pemodelan untuk mendapatkan kesesuaian impedansi.

2.3.2 *Coaxial Feed*

Coaxial feed atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatutan antena. Seperti terlihat pada Gambar 2.11 konduktor bagian dalam dari kabel koaksial dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel koaksial dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).



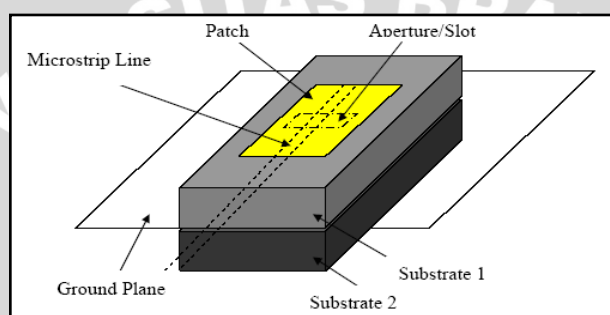
Gambar 2.11 *Coaxial Feed*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:35

Kelebihan dari metode pencatutan seperti ini adalah pencatutan dapat diletakkan pada setiap lokasi didalam *patch* yang diinginkan untuk mendapatkan *matching* impedansi dari antena. Akan tetapi metode ini mempunyai kekurangan yaitu kesulitan dalam pemodelan.

2.3.3 Aperture Coupling

Pada tipe pencatutan ini elemen peradiasi dan bagian pencatu terpisah dengan bidang pentanahan (*ground plane*) seperti pada Gambar 2.12 kopling antara elemen peradiasi antena (*patch*) dan saluran pencatu (*line feed*) dibuat melalui *slot* atau *aperture*.



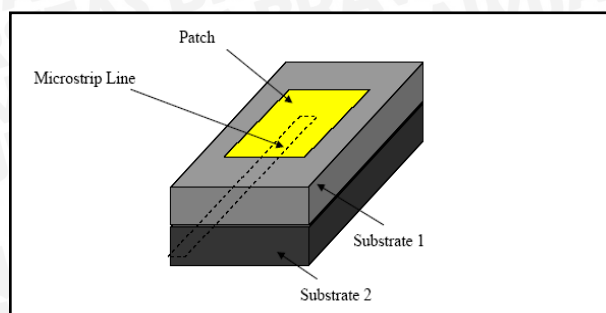
Gambar 2.12 Aperture Coupling Feed

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:36

Celah kopling biasanya diposisikan ditengah pada bagian bawah *patch*, sehingga mengurangi *cross-polarization* yang disebabkan struktur yang simetris. Untuk mengoptimalkan radiasi dari *patch*, biasanya digunakan bahan dengan konstanta dielektrik yang berbeda untuk lapisan/substrat bagian atas dan bawah. Kekurangan dari metode ini terletak pada teknik pencatutan yang sulit untuk difabrikasi dikarenakan lapisan ganda (*multiple layer*) yang tentunya juga menambah ketebalan antena.

2.3.4 Proximity Coupling

Metode pencatutan semacam ini disebut juga skema kopling elektromagnetik. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13 dua bahan dielektrik digunakan sehingga saluran pencatu berada diantara kedua substrat dan bagian elemen peradiasi berada di substrat bagian atas. Kelebihan dari metode ini adalah *bandwidth* yang lebih lebar dari pada teknik pencatutan yang lain. Untuk optimasi antena dapat digunakan media dielektrik yang berbeda.



Gambar 2.13 *Proximity Coupling Feed*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004:37

Matching dapat diperoleh dengan mengatur panjang saluran pencatu dan perbandingan lebar saluran pencatu terhadap lebar elemen peradiasi. Adapun kekurangan yang paling mendasar dari metode ini adalah kesulitan dalam hal fabrikasinya, disebabkan penggunaan dua lapisan dielektrik yang betul-betul memerlukan ketelitian dalam penyusunannya.

2.4 Antena Array

2.4.1 Konsep Dasar Antena Array

Desain antena dengan penguatan yang tinggi sangat diperlukan untuk komunikasi jarak jauh. Salah satu cara yang praktis adalah dengan membuat antena yang disusun dari beberapa elemen peradiasi (*array*). Dengan kata lain, antena *array* adalah antena yang disusun dari beberapa elemen dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981 : 108).

Konfigurasi geometris antena *array* terdiri atas linier dan planar. Disebut *array* linier bila pusat-pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut planar *array*.

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen peradiasi dengan elemen peradiasi yang lain, antara elemen peradiasi dengan saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen peradiasi.

Penguatan antena *array* merupakan penjumlahan dari daya setiap elemen peradiasi pada arah tertentu, sehingga semakin banyak elemen *array* pada arah tertentu maka penguatan akan semakin besar.

Array juga akan mengubah pola radiasi antena. Medan radiasi total dari sebuah *array* merupakan superposisi vektor dari medan yang diradiasikan setiap elemen. untuk

membuat pola radiasi menjadi lebih terarah. Medan yang diradiasikan setiap elemen saling berinterferensi pada arah yang diinginkan. Ada 5 metode yang umum dipakai untuk mengatur total medan radiasi antenna yaitu:

- Konfigurasi geometris *array* tiap elemen.
- Jarak antar elemen
- Amplitudo daya yang dicatukan ke setiap elemen
- Fase daya yang dicatukan ke setiap elemen
- Pola radiasi masing-masing elemen

2.4.2 Antena Array Empat Elemen

Antena *array* adalah antenna yang disusun secara linier dengan jumlah N-elemen yang terletak sepanjang sumbu-z, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Elemen-elemen tersebut dicatu dengan osilator yang sama dan didistribusikan melalui cabang-cabang jaringan. Pada tiap cabang, sebuah attenuator atau amplifier dan penggeser fasa dipasang seri untuk mengontrol amplitudo dan fasa relatif sinyal yang diumpankan ke elemen antenna pada cabang tersebut.

Pada daerah medan jauh dari elemen radiasi, dalam bentuk fasor, intensitas medan listrik $\tilde{E}_e(R, \theta, \phi)$ ditunjukkan sebagai hasil dari dua fungsi yaitu, faktor propagasi dari bentuk bola e^{-jkR}/R , yang harganya tergantung dari harga jarak (R) dan $\tilde{f}_e(\theta, \phi)$ yang harganya berbanding langsung terhadap medan listrik yang dihasilkan oleh elemen *array*. Untuk satu elemen antenna, intensitas medan listrik yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{E}_e(R, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkR}}{R} \tilde{f}_e(\theta, \phi) \quad (2-29)$$

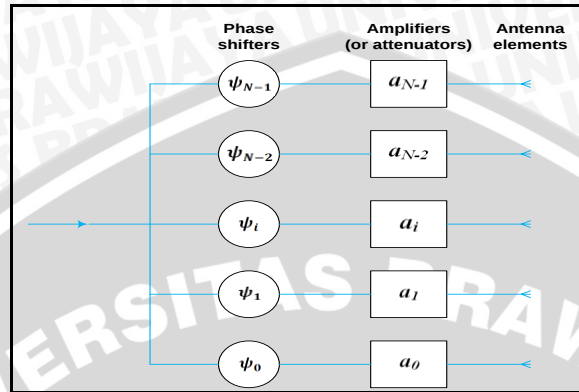
Hubungan kerapatan daya S_e adalah :

$$\begin{aligned} S_e(R, \theta, \phi) &= \frac{1}{2\eta_0} |\tilde{E}_e(R, \theta, \phi)|^2 \\ &= \frac{1}{2\eta_0 R^2} |\tilde{f}_e(\theta, \phi)|^2 \end{aligned} \quad (2-30)$$

Meninjau elemen pada antenna *array* yang ditunjukkan pada Gambar 2.15, pada daerah medan jauh dari elemen i pada jarak R_i , dengan titik observasi Q maka intensitas medan listrik dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{E}_i(R, \theta, \phi) = A_i \frac{e^{-jkR_i}}{R_i} \tilde{f}_e(\theta, \phi) \quad (2-31)$$

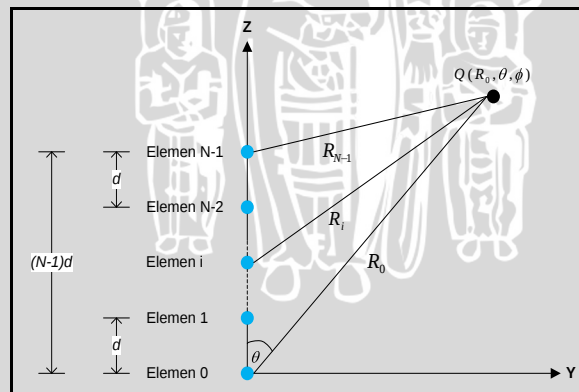
$A_i = a_i e^{j\psi_i}$ adalah koefisien pencatu kompleks (*complex feeding coefficient*), yang menggambarkan amplitudo a_i dan fasa ψ_i yang membangkitkan $\tilde{E}_i$.



Gambar 2.14 Elemen-elemen Array yang Dilengkapi dengan Pengaturan Amplitudo dan Fasa

Sumber : <http://student.eepis-its.edu/~cahyadi/antena/Bab5-A&P-REV.pdf>

Pada kenyataannya, salah satu elemen pertama atau elemen tengah pada antena array digunakan sebagai referensi, dengan catatan, harga R_i dan A_i berbeda untuk elemen yang berbeda pada susunan array, tetapi $\tilde{f}_e(\theta, \phi)$ sama pada semua elemen jika dijumlahkan sehingga menunjukkan pola yang sama.



Gambar 2.15 Geometri Array Relatif Terhadap Titik Pengamatan Q

Sumber : <http://student.eepis-its.edu/~cahyadi/antena/Bab5-A&P-REV.pdf>

Medan total pada titik observasi $Q(R_0, \theta, \phi)$ merupakan penjumlahan dari intensitas medan listrik pada setiap elemen seperti yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{E}(R_0, \theta, \phi) = \sum_{i=0}^{N-1} \tilde{E}_i(R_i, \theta, \phi)$$

$$= \left[\sum_{i=0}^{N-1} A_i \frac{e^{-jkR_i}}{R_i} \right] \tilde{f}_e(\theta, \phi) \quad (2-32)$$

Jika menerapkan antena *array* dengan 4 elemen ($N = 4$), maka persamaan diatas akan menjadi :

$$\tilde{E}(R_0, \theta, \phi) = \left[\sum_{i=0}^3 A_i \frac{e^{-jkR_i}}{R_i} \right] \tilde{f}_e(\theta, \phi) \quad (2-33)$$

R_0 menunjukkan jarak dari titik Q ke pusat sistem koordinat, yang dipilih sebagai lokasi elemen ke-0. Jika panjang *array* $l = (N - 1)d$, dengan d merupakan jarak antar elemen, maka jarak R_0 harus cukup besar dan memenuhi syarat :

$$R_0 \geq \frac{2l^2}{\lambda} = \frac{2(N-1)^2 d^2}{\lambda} \quad (2-34)$$

Jika $N = 4$, maka :

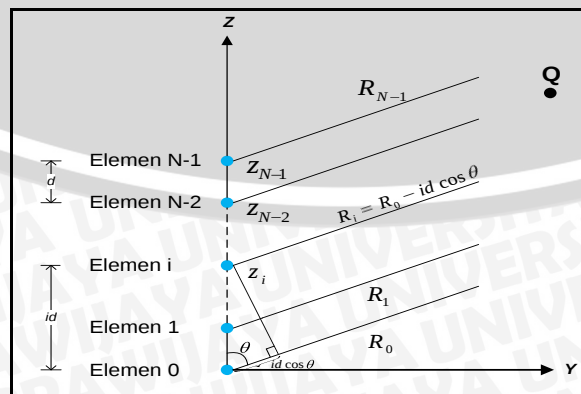
$$R_0 \geq \frac{18d^2}{\lambda} \quad (2-35)$$

Saat menentukan magnitudo dari medan radiasi, dengan mengatur $R_i = R_0$ maka tidak ada perbedaan jarak dari titik Q ke tiap elemen *array* untuk semua i . Untuk bagian fasa pada faktor propagasi, dapat digunakan pendekatan sinar paralel yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_i \cong R_0 - z_i \cos \theta = R_0 - id \cos \theta \quad (2-36)$$

$z_i = id$ adalah jarak antara elemen i dan elemen ke-0 seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.16, dengan menggunakan dua pendekatan pada persamaan (2-33) akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\tilde{E}(R_0, \theta, \phi) = \tilde{f}_e(\theta, \phi) \left(\frac{e^{jkR_0}}{R_0} \right) \times \left| \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j i k d \cos \theta} \right| \quad (2-37)$$



Gambar 2.16 Pengamatan Paralel Pada Analisis Array

Sumber : <http://student.eepis-its.edu/~cahyadi/antena/Bab5-A&P-REV.pdf>

Kerapatan daya antenna *array* diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-30) dan akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S(R_0, \theta, \phi) &= \frac{1}{2\eta_0} |E(R_0, \theta, \phi)|^2 \\ &= \frac{1}{2\eta_0 R_0^2} |\tilde{f}_e(\theta, \phi)|^2 \left| \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \\ &= S_e(R_0, \theta, \phi) \left| \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \end{aligned} \quad (2-38)$$

Jika $N = 4$, maka :

$$S(R_0, \theta, \phi) = S_e(R_0, \theta, \phi) \left| \sum_{i=0}^3 A_i e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (2-39)$$

Persamaan (2-39) menghasilkan dua faktor. Faktor pertama, $S_e(R_0, \theta, \phi)$, yaitu kerapatan daya energi radiasi yang dihasilkan oleh elemen individu. Faktor kedua umumnya disebut faktor *array* (*array factor*), yang merupakan fungsi dari posisi pada masing-masing elemen *array* dan koefisien pencatunya. Faktor *array* ini menyatakan intensitas radiasi medan listrik pada medan jauh dari *array* sebanyak N elemen, dengan elemen berupa radiator isotropis, sehingga faktor *array* dari *array* N elemen dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_a(\theta) = \left| \sum_{i=0}^{N-1} A_i e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (2-40)$$

Jika $N = 4$, maka :

$$F_a(\theta) = \left| \sum_{i=0}^3 A_i e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (2-41)$$

Kerapatan daya dari antenna *array* dinyatakan dengan :

$$S(R_0, \theta, \phi) = S_e(R_0, \theta, \phi) F_a(\theta) \quad (2-42)$$

Persamaan ini disebut prinsip perkalian pola (*pattern multiplication*). Prinsip ini akan digunakan untuk mencari kerapatan daya pada medan jauh dengan cara :

1. Mencari pola daya pada medan jauh dari elemen *array* sehingga dihasilkan faktor *array* $F_a(\theta)$.
2. Mengalikan faktor *array* $F_a(\theta)$ dengan kerapatan daya dari elemen tunggal $S_e(R_0, \theta, \phi)$.

Koefisien pencatu A_i , pada umumnya berbentuk kompleks, yang terdiri dari faktor amplitudo a_i dan faktor fasa ψ_i :

$$A_i = a_i e^{j \psi_i} \quad (2-43)$$

Dengan memasukkan persamaan (2-43) ke dalam (2-41), akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$F_a(\theta) = \left| \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j\psi_i} e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (2-44)$$

Jika $N = 4$, maka :

$$F_a(\theta) = \left| \sum_{i=0}^3 a_i e^{j\psi_i} e^{j i k d \cos \theta} \right|^2 \quad (2-45)$$

Dengan demikian, faktor *array* ditentukan oleh distribusi amplitudo *array* (a_i) dan distribusi fasa *array* (ψ_i). Distribusi amplitudo mengontrol bentuk pola radiasi *array*, sementara itu distribusi fasa dapat digunakan untuk menentukan arahnya.

2.5 Metode Analisis Antena Mikrostrip

Terdapat beberapa metode yang paling umum digunakan untuk analisis antena mikrostrip, yaitu metode saluran transmisi, metode *cavity*, dan metode momen. Metode saluran transmisi merupakan metode yang paling sederhana dan mudah dipahami, namun kurang akurat jika dibandingkan dengan metode lainnya, sedangkan metode *cavity* merupakan metode yang mampu memberikan tingkat akurasi yang lebih baik, namun lebih kompleks dan sulit dipahami. Metode momen merupakan metode yang mampu memberikan tingkat akurasi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan metode lainnya namun paling sulit dipahami.

2.5.1 Dimensi Antena Mikrostrip

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

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (2-46)$$

Setelah nilai λ_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (λ_d) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-47)$$

dengan:

ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

2.5.1.1 Dimensi Elemen Peradiasi Kotak

Untuk menentukan lebar elemen peradiasi kotak (W), dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2-48)$$

Sedangkan untuk menentukan panjang elemen peradiasi (L), terlebih dahulu harus ditentukan konstanta dielektrik efektif yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2-49)$$

Sehingga panjang elemen peradiasi (L) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \cdot \Delta L \quad (2-50)$$

dengan :

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{\epsilon_{reff} + 0,3 \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{\epsilon_{reff} - 0,258 \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2-51)$$

2.5.1.2 Dimensi Elemen Peradiasi Lingkaran

Untuk menentukan radius elemen peradiasi lingkaran, dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2-52)$$

dengan:

a = jari-jari elemen peradiasi (cm)

h = ketebalan substrat (m)

ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

F = fungsi logaritmik (F) dari elemen peradiasi

Sedangkan fungsi logaritmik (F) dari elemen peradiasi lingkaran dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-53)$$

dengan :

f_r = frekuensi kerja pada antena (GHz)

ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif substrat (F/m)

2.5.2 Impedansi Terminal Antena Mikrostrip

Impedansi terminal antena mikrostrip dapat dinyatakan dengan persamaan (Herrera.M, 1999: 3) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \quad (2-54)$$

dengan :

Z_A = impedansi masukan elemen radiasi (Ω)

L = panjang elemen radiasi (mm)

W = lebar elemen radiasi (mm)

2.5.3 Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung lebar saluran transmisi mikrostrip dapat dinyatakan dengan persamaan (Liao, 1987 : 140) :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-55)$$

dengan :

W_0 = lebar saluran transmisi (mm)

h = ketebalan substrat (mm)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Untuk menghitung panjang saluran transmisi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L_o = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (2-56)$$

dengan :

L_o = panjang saluran transmisi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

Sedangkan untuk mengetahui panjang *inset feed* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

- Elemen peradiasi kotak

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (2-57)$$

dengan :

y_0 = kedalaman saluran transmisi yang menjorok ke dalam elemen peradiasi (mm)

L = panjang elemen peradiasi (mm)

- Elemen peradiasi lingkaran

$$y_0 = 0,3d \quad (2-58)$$

dengan :

y_0 = kedalaman saluran transmisi yang menjorok ke dalam elemen peradiasi (mm)

d = diameter elemen peradiasi (mm)

2.5.4 Jarak antar elemen

Jarak antar elemen peradiasi dapat dinyatakan dengan persamaan (Johan L, 2002 : 24) :

$$r \geq 0,6\lambda_d \quad (2-59)$$

dengan :

r = jarak antar elemen peradiasi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

2.6 WLAN (Wireless Local Area Network)

WLAN merupakan sebuah sistem komunikasi data yang fleksibel dan dapat menggantikan atau bahkan memperluas fungsi jaringan LAN dengan kabel (*wired LAN*). WLAN menghubungkan beberapa komputer (*wireless client*) dengan titik akses (*access point*) menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya sehingga dapat mentransmisikan dan menerima data melalui udara, melewati dinding serta plafon dan bahkan menembus dinding semen tanpa menggunakan kabel. Untuk *mobile user*, penggunaan WLAN sangatlah efisien karena komunikasi antara server dengan user dapat tetap berjalan tanpa harus kehilangan komunikasi di antara keduanya. Selain itu

WLAN juga menawarkan layanan dan keuntungan yang lebih menjanjikan daripada teknologi jaringan biasa.

2.6.1 Standart IEEE 802.11

Teknologi yang digunakan untuk WLAN mayoritas menggunakan standar IEEE 802.11 (a/b/g). Perbedaan antar standar ini adalah pada modulasi transmisinya yang menentukan kapasitas layanan yang dihasilkan. Pada standar 802.11b, kapasitas maksimalnya 11 Mbps, 802.11g dapat mencapai 20 Mbps keduanya bekerja di frekuensi 2,4 Ghz. Sementara standar 802.11a bekerja pada frekuensi 5 Ghz. Karena lebar pita frekuensi yang lebih luas dan modulasi yang lebih baik, maka perangkat yang berbasis standar ini mampu melewati data hingga kapasitas 54 dan 108 Mbps dan menampung jumlah pengguna lebih banyak. Perbandingan 802.11a, 802.11b, 802.11g ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel Perbandingan 802.11a, 802.11b, 802.11g.

	802.11a	802.11b	802.11g
Standart Ratified	September 1999	September 1999	Mei 2003
Raw Data Rate	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps
Average Actual Throughput	27 Mbps	4-5 Mbps	20-25 Mbps
Frequency	5-5,3 GHz	2,4-2,4835 GHz	2,4-2,435 GHz
Avalaible spectrum	300 MHz	83,5 MHz	83,5 MHz
Modulation Encoding	DSSS/CCK	OFDM	DSSS/CCK & OFDM

Sumber: http://www.lcom.com/multimedia/whitepapers/wp_ABGs_of_Wireless_2031

Dari ketiga standart protokol yang ada, 802.11b dipandang unggul karena harganya yang relatif lebih murah dari yang lain. 802.11a memiliki kelebihan pada jangkauan spektrum frekuensi yang lebih tinggi (5-6 GHz), sedang 802.11g memiliki kompatibilitas dengan semua protokol 802.11 dan throughputnya lebih besar.

IEEE 802.11b menggunakan band ISM (*Industry, Science and Medical*) 2,4 GHz dan mampu mencapai kecepatan data 11 Mbps. Dengan teknologi *spread spectrum*, memiliki jangkauan sampai 800 ft atau 50.000 ft².

Jalur frekuensi yang tersedia pada band ISM 2,4 GHz sekitar 83,5 MHz yang terbentang antara 2,4 sampai 2,4835 GHz. *Federal Communication Commission* (FCC)

membagi band ini menjadi 11 kanal dengan guard band antar kanal sebesar 5 MHz ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 *Computer Network Planning Standart Using WLAN*

Standar Layanan	IEEE 802.11b
Range Frekuensi	2,4 – 2,4835 GHz
Modulasi	QPSK
Skema Modulasi	DSSS
Delay Time Total	<150 ms
Mode Transmisi	Full Duplex
Data Rate	5,5 Mbps, 11 Mbps
Kecepatan Transmisi	2 Mbps
Daya Pancar	500 mW
Jenis Layanan	Teks & Gambar
Kanal Frekuensi	Kanal 11 (2,462 GHz)

Sumber : <http://www.wlana.org>

