

BAB II

KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1. Kajian Teoritik

2.1.1. Definisi Rancang Bangun

Dalam kamus besar bahasa Indonesia, rancang atau berancang ialah direncanakan lebih dahulu, merancang ialah mengatur segala sesuatu lebih dahulu (merencanakan), rancangan ialah sesuatu yg sudah dirancangkan (rencana, program, persiapan), perancangan ialah perihal merancang.³

Menurut Darmawan Harso Koesno perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk.⁴

Menurut Kennet S. Hurst dalam buku prinsip-prinsip perancangan teknik, perancangan teknik adalah seluruh aktivitas untuk membangun dan mendefinisikan solusi bagi masalah-masalah yang tidak dapat dipecahkan sebelumnya atau solusi dari berbagai masalah sebelumnya telah dipecahkan namun dengan cara yg berbeda.⁵

Sedangkan bangun dalam kamus besar bahasa Indonesia ialah bentuk (bulat, segi empat, dsb) atau cara menyusun/susunan yg merupakan suatu wujud

³ Tim Penyusun KBI, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional, 2008, hlm. 1164.

⁴ Darmawan Harso Koesno, *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*, Bandung, Departemen Pendidikan Nasional, 2000, hlm. 1.

⁵ Kennet S. Hurst, terj. Refina Indriasari, *Prinsip-Prinsip Perancangan Teknik*, Jakarta, Penerbit Gelora Aksara Pratama, 2006, hlm. 4.

(struktur), membangun ialah memperbaiki/membina/mendirikan, pembangunan ialah hal (cara, perbuatan, dsb) membangun.⁶

Pengertian bangun atau pembangunan sistem menurut Pressman adalah kegiatan menciptakan sistem baru maupun mengganti atau memperbaiki sistem yang telah ada baik secara keseluruhan maupun sebagian.⁷

Jadi dengan kata lain rancang bangun ialah suatu kegiatan (aktivitas) dalam merancang atau merencanakan dan membuat suatu sistem atau produk yang baru maupun memperbaiki sistem yang sudah ada baik secara keseluruhan maupun sebagian.

2.1.2. Antena

Antena merupakan salah satu perangkat atau piranti pada sistem komunikasi nirkabel (*wireless*) yang berperan sebagai pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik, artinya mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun dalam saluran kabel atau sebaliknya dari gelombang elektromagnetik tertuntun menjadi gelombang ruang bebas.

Desain, pemilihan, penempatan dan pemasangan antena yang tepat akan menunjang sebuah sistem telekomunikasi dapat mencapai kinerja yang baik dan handal.

⁶ Tim Penyusun KBI, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional, 2008, hlm. 135.

⁷ Indah, *Pengertian Rancang Bangun dan Konsep*, Diakses dari indahpermata6.blogspot.com/2013/06/pengertian-rancang-bangun-dan-konsep.html, pada tanggal 8 Desember 2013 pukul 19.07

Proses kerja dari sebuah antena didasarkan pada konsep hubungan medan listrik dan medan magnet atau yang dikenal sebagai elektromagnetika. Hubungan kedua medan inilah yang dimanfaatkan untuk mengubah radiasi gelombang sebagai media komunikasi *wireless*.⁸

2.1.3. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang dikembangkan dari struktur pemandu gelombang mikrostrip (*microstrip lines*). Pemandu gelombang mikrostrip merupakan jalur-jalur pada sebuah substrat yang terbuat dari material dielektrika seperti pada *printed circuit board* (PCB).⁹

Pada dasarnya antena mikrostrip ini merupakan perangkat pemandu gelombang biasa namun karena proses pembuatannya yang sederhana dan ekonomis, membuat jenis ini banyak diaplikasikan untuk kebutuhan perangkat telekomunikasi baik umum maupun penelitian.

Bentuk patch antena dapat dibuat dalam bentuk segiempat, lingkaran dll, yang dirancang pada sebuah substrat untuk membawa muatan listrik didaerah bidangnya. Bentuk substrat ini dapat dirancang sesuai kebutuhan (frekuensi) dan polarisasi yang diinginkan.

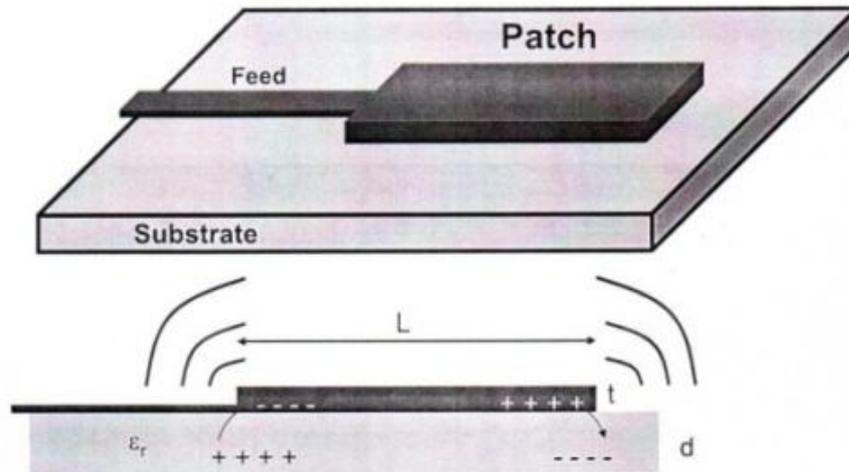
Disamping kelebihan yang sederhana dan mudah dibuat, antena jenis ini juga mempunyai kekurangan yaitu bandwidth yang sempit, kemampuan melewati daya yang kecil dan gain yang rendah.

⁸ Efri Sandi, *Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang*, Jakarta, Universitas Negeri Jakarta, 2012, hlm. 44.

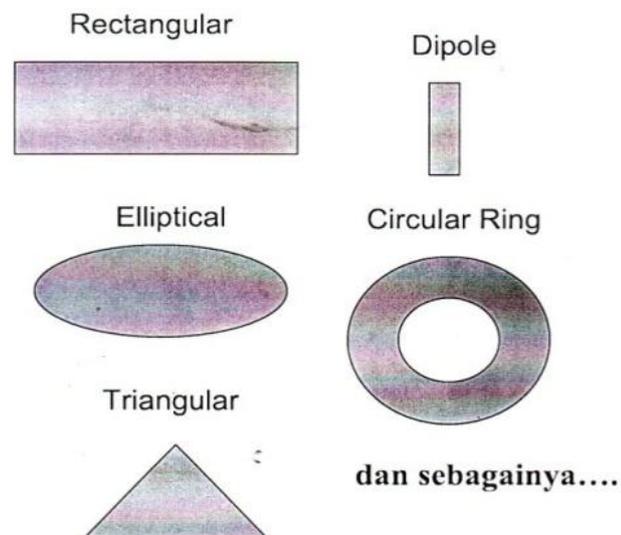
⁹ Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 178.

Struktur antenna mikrostrip pada dasarnya terdiri dari 3 bagian yaitu patch antenna atau elemen peradiasi, substrat serta ground plane (bidang pertanahan).

Struktur dan bentuk patch antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 2.1 dan 2.2 berikut :



Gambar 2.1. Struktur patch antenna mikrostrip



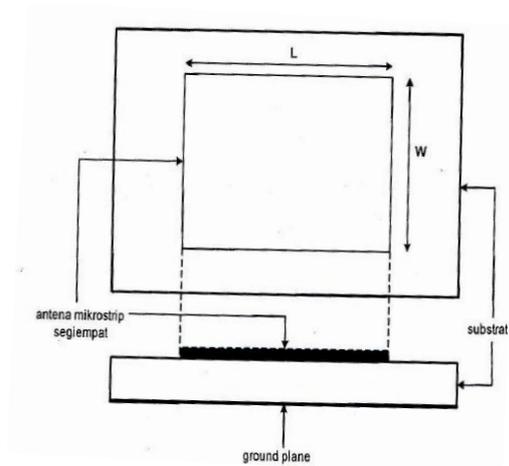
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk patch antenna mikrostrip

Aplikasi antena mikrostrip biasanya digunakan untuk komunikasi yang memerlukan ukuran antena yang kecil komunikasi *aircrafts*, telepon selular dan perangkat komunikasi yang bergerak lainnya.

Bentuk *patch* dan pencatuan yang dirancang akan mempengaruhi impedansi antena mikrostrip, pola radiasi dan polarisasi dari antena tersebut.

2.1.4. Bentuk Antena Mikrostrip Segiempat (*Rectangular*)

Bentuk segiempat adalah bentuk antena mikrostrip yang paling banyak digunakan karena bentuknya paling sederhana seperti terlihat pada gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Bentuk antena mikrostrip segiempat

Dimana **L** adalah panjang dari *patch* antena dan **W** adalah lebar dari *patch* antena.

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan :

$$f_{mm} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Pers 1.1})$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi adalah :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.246 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (\text{Pers 1.2})$$

Panjang elemen peradiasi efektif dapat dituliskan sebagai :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (\text{Pers 1.3})$$

Atau dapat juga dituliskan seperti pada persamaan berikut :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (\text{Pers 1.4})$$

Sedangkan lebar elemen peradiasi dapat dirumuskan sebagai :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)}} \quad (\text{Pers 1.5})$$

Nilai konstanta dielektrik efektif dirumuskan sebagai :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \quad (\text{Pers 1.6})$$

Keterangan :

c = kecepatan cahaya

f_r = frekuensi kerja dalam Hz.

ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif dan

ΔL merupakan perubahan panjang yang disebabkan oleh adanya *fringing effect*.

2.1.5. Parameter Antena Miktostrip

Untuk mengetahui spesifikasi standar dari antena yang dirancang, ada beberapa parameter dari antena mikrostrip yang biasanya digunakan dalam simulasi maupun pengukuran. Adapun beberapa parameter dari antena tersebut ialah :

2.1.5.1. Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja dari suatu antena. Rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat dari grafik *Return Loss* dan grafik *Voltage Standing Wave Rating (VSWR)*, sebagai contoh ketika nilai *return loss*-nya bernilai lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB dan ketika nilai VSWR-nya lebih kecil atau sama dengan 2.

2.1.5.2. Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena), sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali.¹⁰ koefisien refleksi tegangan (Γ) sering disebut dengan perbandingan antara gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang dikirimkan, adapun persamaan dari koefisien refleksi tegangan ialah sebagai berikut :

¹⁰ Indra Sudjati, *Antena Mikrostrip Konsep dan Aplikasinya*, Jakarta, Penerbit Universitas Trisakti, hlm. 15.

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (\text{Pers 1.7})$$

Dimana :

Γ : koefisien refleksi tegangan

V_0^- : tegangan yang dipantulkan (Volt)

V_0^+ : tegangan yang dikirimkan (Volt)

Z_L : impedansi beban atau *load* (Ohm)

Z_0 : impedansi saluran *lossless* (Ohm)

Nilai dari *return loss* dapat dicari dengan cara memasukan koefisien refleksi tegangan ke dalam persamaan di bawah ini :

$$\text{Return Loss} = 20 \text{Log}_{10} |\Gamma| \quad (\text{Pers 1.8})$$

Nilai *return loss* yang baik ialah lebih kecil sama dengan -9,54 dB, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain , saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching*.

Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Namun demikian ada beberapa standar yang meminta persyaratan lebih dari -9,54 dB.

2.1.5.3. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (standing Wave) maksimum ($|V|_{max}$) dengan minimum ($|V|_{min}$).

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai VSWR atau S adalah :

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{Pers 1.9})$$

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang mempresentasikan besarnya magnitudo dan phasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ sama dengan nol, maka :

$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna

$\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

Kondisi yang paling baik adalah ketika nilai VSWR sama dengan 1 atau $S=1$, yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada prakteknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk simulasi dan pabrikan antena mikrostrip adalah VSWR lebih kecil sama dengan 2.

2.1.5.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan (Z_{in}) ialah impedansi pada suatu terminal dari antena tersebut atau dengan kata lain, impedansi masukan adalah perbandingan antara tegangan dengan arus.

Impedansi masukan (Z_{in}) terdiri dari bagian real (R_{in}) dan imajiner (X_{in}) dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Z_{in} = (R_{in} + j X_{in})\Omega \quad (\text{Pers 1.10})$$

Dari persamaan Z_{in} tersebut di atas, komponen yang diharapkan adalah daya real (R_{in}) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner (X_{in}) mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena.

2.1.5.5. Bandwidth

Bandwidth adalah jangkauan frekuensi pada saat antena dalam keadaan sesuai dengan standar yang diterapkan. *Bandwidth* suatu antena juga dapat diartikan sebagai besar rentang frekuensi kerja dari suatu antena. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi tertinggi dan frekuensi terendah dari suatu antena sudah diketahui, seperti terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini. Frekuensi terendah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena. Namun demikian, pada saat perancangan dapat juga disepakati bahwa, frekuensi tertinggi atau frekuensi terendah yang merupakan frekuensi kerja dari antena.

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai *bandwidth* :

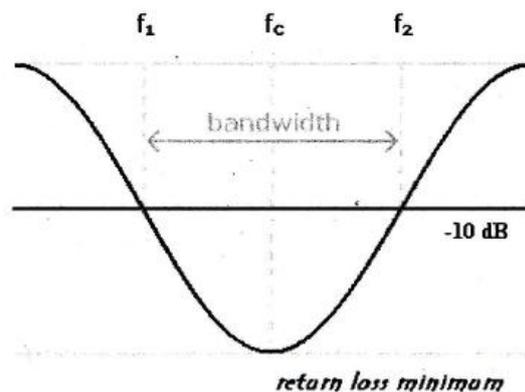
$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (\text{Pers 1.11})$$

Dimana :

f_2 : Frekuensi tertinggi (Hz)

f_1 : Frekuensi terendah (Hz)

f_c : Frekuensi tengah (Hz)



Gambar 2.4. Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth*

Bandwidth (BW) antenna biasanya ditulis dalam bentuk presentase (%), *bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi.

Pada antenna mikrostrip, ada beberapa jenis *bandwidth* yang biasanya digunakan dalam perancangan ataupun pengukuran yaitu :

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana 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.
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai bandwidth dapat dicari.
- c. *Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi di mana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah lebih kecil dari 3dB.

2.1.5.6. Gain

Gain adalah faktor perbandingan antara daya keluaran (*output*) dengan daya masukan (*input*), besarnya *gain* dapat dilihat dengan membandingkan intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik (referensi) yang menggunakan sumber daya masukan yang sama. *Gain* antenna dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G = D \cdot \eta$$

(Pers 1.12)

Dimana :

D = direktivitas

η = efisiensi antena

Ada 2 jenis parameter *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 diterima oleh antena (P_{in}) dibagi dengan 4π .¹¹

Absolute gain ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$G = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{intensitas radiasi yang diterima}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{Pers 1.13})$$

Sedangkan *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* ($P_{in}(\text{lossless})$), yang dapat dirumuskan sebagai berikut :¹²

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{lossless})} \quad (\text{Pers 1.14})$$

¹¹ Indra Sudjati, *Antena Mikrostrip Konsep dan Aplikasinya*, Jakarta, Penerbit Universitas Trisakti, hlm. 21.

¹² Ibid., hlm. 22.

2.1.5.7. Direktivitas (keterarahan)

Keterarahan adalah arah konsentrasi dari radiasi sebuah antenna, atau dapat didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah.

Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π .

Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (\text{Pers 1.15})$$

Jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang dapat dicari menggunakan rumus berikut :

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (\text{Pers 1.16})$$

Dimana :

D : Keterarahan

D_0 : Keterarahan maksimum

U : Intensitas radiasi

U_{max} : Intensitas radiasi maksimum

U_0 : Intensitas radiasi pada sumber isotropik

P_{rad} : daya total radiasi

Apabila arah sudah ditentukan maka dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$D_{\text{susun}} = \left[\frac{1}{N} + \frac{2}{N} \sum_{m=1}^{N-1} \frac{N-m}{m\beta d} \sin m\beta d \cos m\alpha \right]^{-1} \quad (\text{Pers 1.17})$$

Dimana :

N = Jumlah elemen

d = Jarak antar elemen (cm)

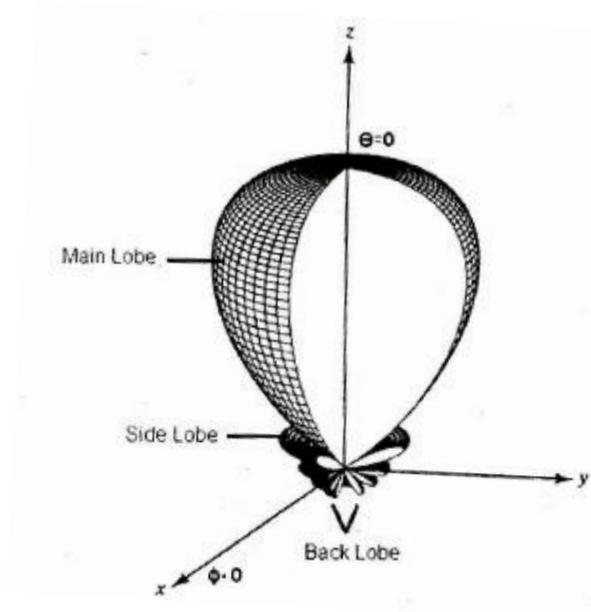
α = Beda fasa eksitasi (derajat)

$$\beta = \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{\lambda_0} \text{ (derajat)}$$

2.1.5.8. Pola Radiasi

Pola radiasi adalah distribusi atau pola yang dipancarkan oleh sebuah antena dari sifat radiasi antena yang meliputi intensitas radiasi, kerapatan fluks, kuat medan, atau polarisasi. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat penting adalah persebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antena.

Contoh gambaran dari pola radiasi antenna dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Pola radiasi antenna

Pada pola radiasi antenna terdapat beberapa bagian diantaranya adalah *main lobe*, *side lobe* dan *back lobe* dimana terlihat pada gambar 2.5.

2.1.5.9. Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah gain maksimum. Pada dasarnya, polarisasi energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai pola radiasi yang berbeda.

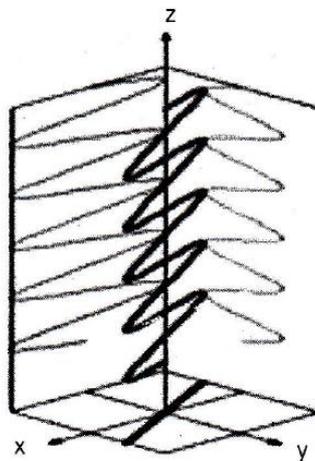
Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang yang ditransmisikan oleh antenna, Selain itu, polarisasi

juga dapat didefinisikan sebagai gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu..

Ada beberapa klasifikasi dari polarisasi yang terdapat pada antena mikrostrip yaitu polarisasi *linear* (linier), polarisasi *circular* (melingkar), dan polarisasi *eliptrical* (elips).

Polarisasi linier seperti terlihat pada gambar 2.6 terjadi jika suatu gelombang yang berubah pada titik tertentu dimana gelombang tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu, atau dengan kata lain polarisasi linier ialah suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang yang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur linier. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi :

- a. Hanya ada satu komponen, atau
- b. Dua komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau 180^0 atau kelipatannya .

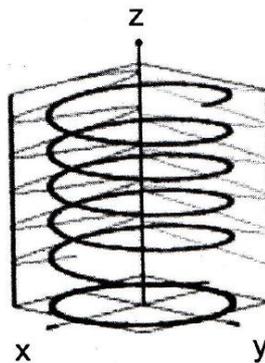


Gambar 2.6 Polarisasi linier

Polarisasi melingkar seperti ditunjukkan oleh gambar 2.7 terjadi jika suatu gelombang yang berubah pada titik tertentu dimana gelombang tersebut selalu berorientasi pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu, atau dengan kata lain polarisasi lingkaran ialah suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang yang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran pada setiap waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

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

Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *right hand circular polarization* (RHCP) terjadi ketika $\delta=-\pi/2$ dan *left hand circular polarization* (LHCP) yang terjadi ketika $\delta=+\pi/2$.

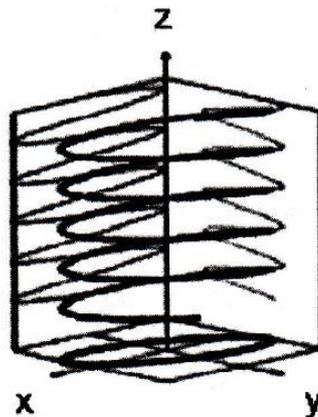


Gambar 2.7 Polarisasi melingkar

Polarisasi elips terlihat pada gambar 2.8 terjadi ketika suatu gelombang yang berubah pada titik tertentu dimana gelombang tersebut selalu berorientasi pada jalur kedudukan elips pada ruang yang sama pada setiap waktu, atau dengan kata lain polarisasi elips ialah suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik yang memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang yang sama.

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 ternilai 0^0 atau kelipatan 180^0 (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa diantara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari 90^0 (karena akan menjadi lingkaran).



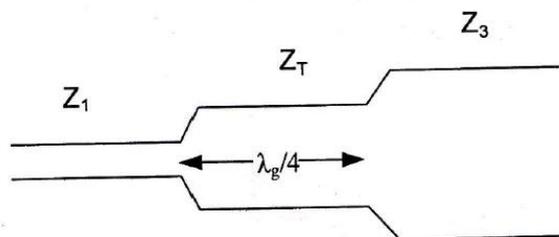
Gambar 2.8 Polarisasi elips

2.1.5.10. Impedance Matching

Penyesuaian impedansi (*impedance matching*) merupakan salah satu parameter dari perancangan suatu antena. Suatu jalur transmisi dikatakan sesuai (*matched*) apabila karakteristik impedansi sama dengan impedansi beban ($Z_0 = Z_L$), atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban.

Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang *matched* sangat diperlukan. Dimana Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antena atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_L . Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan cara menambah transformator $\lambda/4$, pemberian *single stub*, dan *double stub*.

Gambar 2.9 memperlihatkan pemberian transformator $\lambda/4$ untuk memperoleh keadaan *impedance matching*.



Gambar 2.9 Transformator $\lambda/4$

Transformator $\lambda/4$ adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak sesuai. Panjang saluran transmisi transformator $\lambda/4$ ini adalah sebesar $l = \frac{1}{4}\lambda_g$, dimana λ_g merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan :¹³

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (\text{Pers 1.18})$$

Dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas.

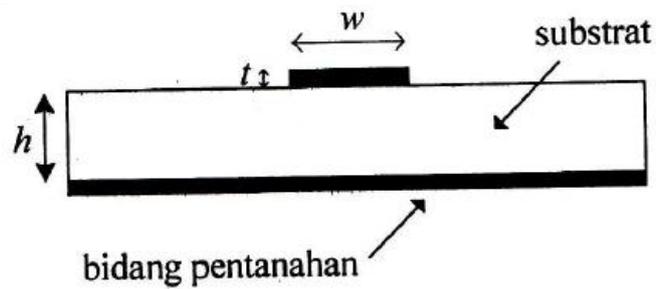
Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad (\text{Pers 1.19})$$

2.1.6. Saluran Transmisi Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah garis (*strip*) dengan lebar w dan bidang pertanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki konstanta dielektrik relatif ϵ_r dengan tinggi h seperti terlihat pada gambar 2.16. Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h).

¹³ Indra Sudjati, *Antena Mikrostrip Konsep dan Aplikasinya*, Jakarta, Penerbit Universitas Trisakti, hlm. 28



Gambar 2.10 Geometri saluran mikrostrip

Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h < 1$

Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \quad (\text{Pers 1.20})$$

Impedansi karakteristik :

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad (\text{Pers 1.21})$$

Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h > 1$

Konstanta dielektrik efektif :

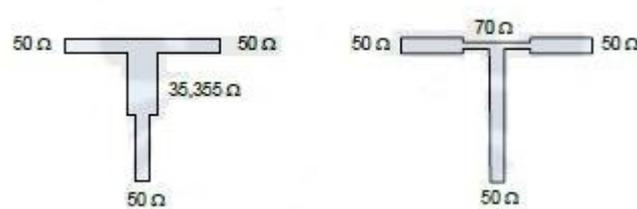
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} \right] \quad (\text{Pers 1.22})$$

Impedansi karakteristik :

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\frac{w}{h} + 1.393 + 2/3 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.44 \right)} \quad (\text{Pers 1.23})$$

2.1.7. T-Junction Power Divider

Teknik *power divider T-Junction* adalah salah satu teknik yang dapat mendukung penyesuaian impedansi pada saluran transmisi konfigurasi antena mikrostrip *array* adalah. Adapun bentuk umum dari teknik *power divider T-Junction* adalah seperti gambar 2.11, serta untuk menentukan penyesuaian impedansi pada teknik *T-Junction* biasanya menggunakan metode Transformator $\lambda/4$.



Gambar 2.11 *T-Junction*

2.1.8. Teknik Pencatuan

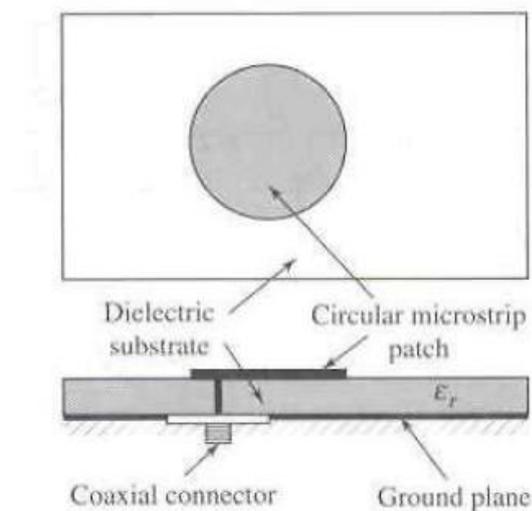
Parameter selanjutnya ialah teknik pencatuan, adapun saluran pencatuan untuk antena mikrostrip dapat dibagi menjadi 2, yaitu pencatuan secara langsung (*direct coupling*) dan pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*).

Pada awalnya pencatuan secara langsung banyak digunakan karena sangat sederhana dalam pencatuan. Tetapi disamping kelebihan tersebut ada beberapa kekurangan yang terdapat pada pencatuan ini, yaitu antena mikrostrip akan menghasilkan pita frekuensi atau *bandwidth* yang sempit sekitar 2%-5% dan sangat sulit jika antena mikrostrip akan disusun secara *array*.

Dengan kekurangan ini maka diperkenalkanlah teknik pencatuan yang lain yaitu pencatuan tidak langsung atau *electromagnetic coupling*. Keuntungan dari teknik pencatuan ini adalah dapat mengurangi proses penyolderan dan dapat memperlebar *bandwidth*.

2.1.8.1. Pencatuan secara langsung

Pencatuan yang pertama kali digunakan sebagai pencatu untuk antenna mikrostrip adalah pencatuan secara langsung, seperti pada gambar 2.12 di bawah ini. Adapun kelebihan dari pencatuan ini adalah sangat sederhana dalam teknik pencatuannya, di mana konektor dan patch antenna dihubungkan secara langsung dengan melakukan penyolderan pada bidang pertanahan (*ground plane*). Namun demikian memiliki juga beberapa kelemahan, yaitu *bandwidth* yang dihasilkan sangat sempit dan sangat sulit jika akan dipabrikasi secara *array*.



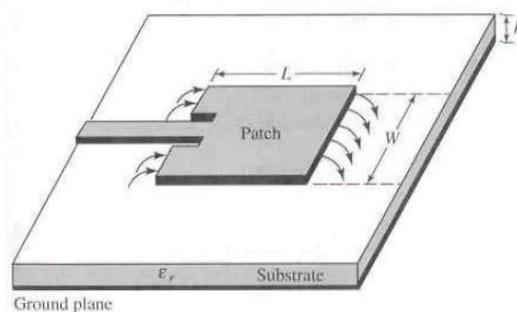
Gambar 2.12 Pencatuan secara langsung

2.1.8.2. Pencatuan secara tidak langsung

Teknik selanjutnya ialah teknik pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*), dengan teknik ini tidak ada kontak langsung antara saluran transmisi dengan elem peradiasinya dan mengurangi penyolderan pada bidang pertanahan (*Ground Plane*). Ada dua teknik pengopelan yang diperkenalkan oleh Pozar, Grunoau dan Wolf pada tahun 1986, yang biasanya digunakan pada pencatuan ini, yaitu *Microstrip Line Feed*, *proximity coupling* dan *apertue coupling*.

1. *Microstrip Line Feed*

Jenis pencatuan ini sederhana dan mudah untuk dibuat, pada teknik ini proses pencatuanya hanya dengan mengatur saluran transmisi yang berada pada permukaan substrat. Pada pendekatan ini digunakan satu buah substrat, bagian atas adalah dimensi *patch* dan saluran transmisi mikrostrip. Pada permukaan bagian bawah memiliki bidang pertanahan. Gambar di bawah ini adalah geometri antenna mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *microstrip line feed* :

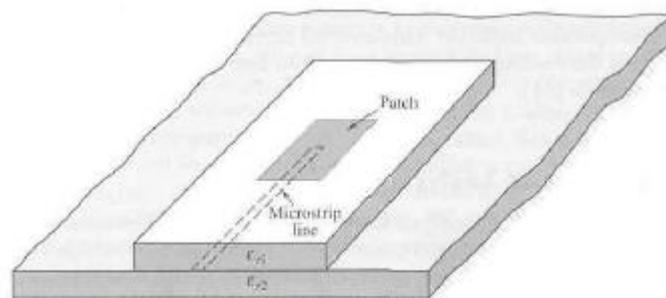


Gambar 2.13 Antena mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *microstrip line feed*

2. *Proximity Coupling*

Dengan menggunakan saluran mikrostrip sebagai pencatu, saluran tersebut biasanya terdapat pada permukaan yang sama dengan *patch* dan terhubung secara langsung dengan *patch* pada salah satu tepinya. Dengan tetap berada pada permukaan yang sama dengan *patch*, saluran dapat diletakkan pada posisi yang berdekatan dengan *patch* dengan menyisakan sedikit celah antara ujung saluran dan antenna.

Pada pendekatan ini digunakan dua buah substrat, bagian atas adalah dimensi *patch*-nya. Saluran mikrostrip diletakkan di tengah-tengah dari lebar *patch* dan berjarak dari tepi *patch*. Pada substrat bagian bawah memiliki bidang pertanahan. Gambar 2.14 adalah geometri antenna mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *proximity coupled* :

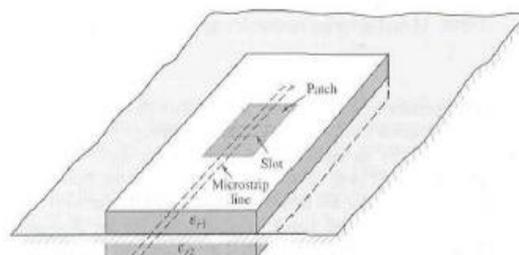


Gambar 2.14 Antena mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *proximity coupled*

3. *Aperture Coupling*

Dengan teknik pencatuan *aperture coupling* , memungkinkan untuk melakukan optimasi secara terpisah antara antenna mikrostrip dan saluran transmisi dengan menggunakan bahan substrat yang berbeda.

Elemen peradiasi dan saluran transmisi dipisahkan oleh bidang pertanahan dan digandeng (*coupled*) dengan sebuah celah (*slot* atau *aperture*) pada bidang pertanahan yang disisipkan di antara keduanya. Susunan antenna terdiri atas dua buah atau lebih substrat dielektrik, di mana elemen peradiasi berada pada substrat dielektrik bagian atas sedangkan saluran transmisi berada pada substrat dielektrik bagian bawah. Elemen peradiasi dan saluran transmisi dipisahkan oleh bidang pertanahan dan digandeng (*coupled*) dengan sebuah celah (*slot* atau *aperture*) pada bidang pertanahan yang disisipkan di antara keduanya. Dengan mengontrol impedansi karakteristik saluran pencatu dan mengatur dimensi dan posisi dari celah tersebut maka penyesuaian impedansi dari antenna dapat dicapai. Gambar 2.15 ini adalah geometri antenna mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *aperture coupled* :



Gambar 2.15 Antena mikrostrip dengan teknik pencatuan secara *aperture coupled*

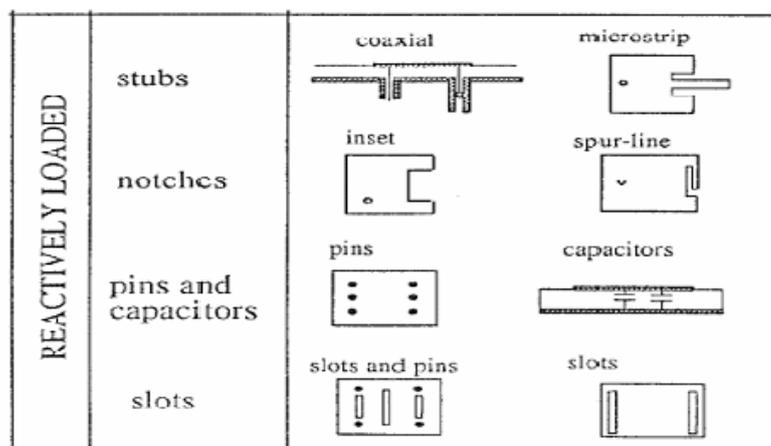
2.1.9. Teknik Untuk Menghasilkan Multi Frekuensi

Secara umum untuk menghasilkan antenna dengan frekuensi lebih dari satu (multi frekuensi) ada beberapa cara yang dilakukan, cara-cara tersebut adalah : *Reactively loaded* multi *frequency* antenna, *orthogonal mode* multi *frequency* antenna dan multi *patch* multi *frequency* antenna

2.1.9.1. *Reactively loaded* multi *frequency* antenna

Reactively loaded adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi, dan *Reactively loaded* dapat di definisikan sebagai cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antenna. Beban yang dimaksud disini bisa berupa *slot*, *stub*, *pin* dan kapasitor terlihat pada gambar 2.16.

Untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berkaitan dengan pembangkitan frekuensi lain. Maka beban reaktif tersebut ditambahkan khusus pada tepi peradiasi (*radiating edge*).

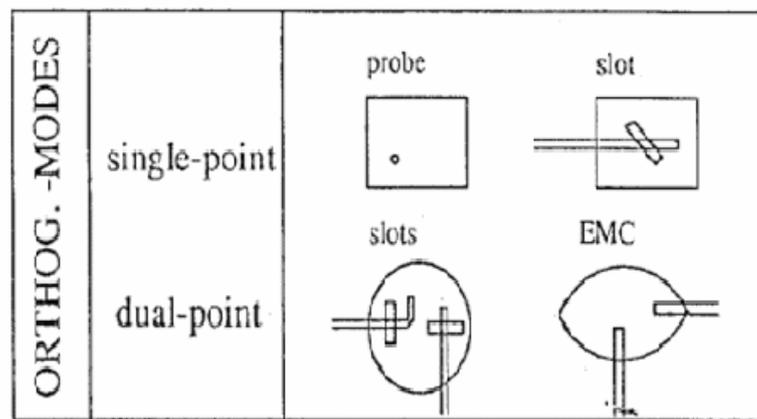


Gambar 2.16 Teknik multi frekuensi *Reactively loaded*

2.1.9.2. Orthogonal mode multi frequency antenna

Cara selanjutnya adalah dengan teknik *Orthogonal mode* multi *frequency* antenna, teknik ini akan menghasilkan dua buah frekuensi yang mempunyai dua polarisasi orthogonal. Untuk mendapatkan multi frekuensi resonansi salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menempatkan pencatu dalam satu buah *patch* sedemikian sehingga pada posisi tersebut dapat menyesuaikan dua buah frekuensi.

Hal ini dapat dilakukan menggunakan teknik pencatutan line dimana pada pencatutan ini diberikan slot yang arahnya condong ke arah pencatu atau dengan menggunakan cara pencatutan *probe*. Adapun cara lain dengan menggunakan teknik ini untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi adalah dengan menggunakan pencatutan ganda. Gambar 2.17 adalah teknik multi frekuensi *Orthogonal mode* :

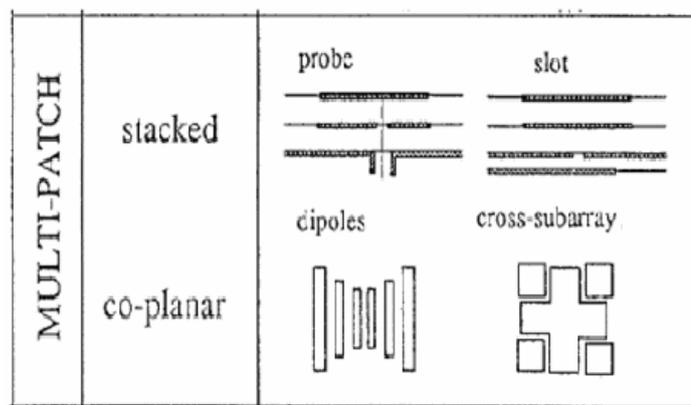


Gambar 2.17 Teknik multi frekuensi *Orthogonal mode*

2.1.9.3. Multi *patch* multi *frequency* antenna

Teknik multi *patch* multi *frequency* antenna dilakukan dengan menggunakan lebih dari satu buah *patch* untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi,. Cara yang dapat dilakukan adalah multi *stacked* multi *patch* antenna, cara ini dilakukan dengan menyusun secara menumpuk *patch* yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda.

Adapun cara lain selain menggunakan multi *stacked* multi *patch* antenna adalah multi *patch co-planar*, yaitu dengan cara menyusun *patch* antenna pada lapisan substrat. Lapisan substrat tersebut dipisahkan dengan *slot*. Gambar 2.18 adalah teknik multi frekuensi multi *patch* :



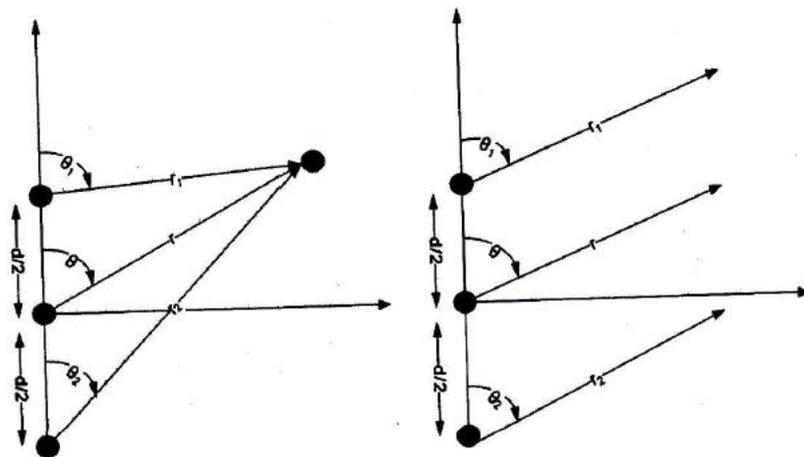
Gambar 2.18 Teknik multi frekuensi multi *patch*

2.1.10. Array Antena

Array merupakan susunan dari beberapa antena yang sama, atau dengan kata lain *array* antena adalah penggabungan beberapa elemen pada sebuah antena dengan saluran transmisi sebagai penghubung dari antena tersebut.

Pada antena mikrostrip terdapat beberapa pengaturan dalam melakukan penyusunan (*array*) antena, diantaranya *series feed*, *parallel feed*, *hybrid series/parallel feed*, *single-layer or multilayer design*.

Antena susunan (*array*) dapat dimisalkan sebagai susunan *dipole horizontal* yang sangat kecil, seperti terlihat pada gambar 2.19 berikut ini.



Gambar 2.19 Geometri dua elemen *array*

Dari gambar 2.19 di atas diperoleh medan total (E_t) yang diradiasikan oleh kedua elemen tersebut adalah sebagai berikut :

$$E_t = E_1 + E_2 = \hat{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[k\eta - (\beta/2)]}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j[k\eta + (\beta/2)]}}{r_2} \cos \theta_2 \right\} \quad (\text{Pers 1.24})$$

Dimana β adalah perbedaan eksitasi fasa diantara elemen $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, r_1 dan r_2 adalah jarak observasi. Magnitudo eksitasi pada radiator adalah identik. Jika ditinjau dari sudut pandang medan jauh maka :

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta$$

$$r_1 = r - \frac{d}{2} \cos \theta, \text{ untuk perbedaan fasa}$$

$$r_2 = r + \frac{d}{2} \cos \theta, \text{ untuk perbedaan fasa}$$

$$r_1 = r_2 = r, \text{ untuk variasi amplitudo}$$

Persamaan di atas selanjutnya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E_1 = \hat{a}_\theta j \eta \frac{k I_o l^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left[e^{+j \frac{(kdcos\theta + \beta)}{2}} + e^{-j \frac{(kdcos\theta + \beta)}{2}} \right]$$

$$E_1 = \hat{a}_\theta j \eta \frac{k I_o l^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kdcos\theta + \beta) \right] \quad (\text{Pers 1.25})$$

Dari persamaan 1.25 diatas terlihat bahwa medan total dari *array* adalah sama dengan medan dari elemen tunggal dikalikan dengan faktor yang disebut sebagai faktor *array* (*array factor*).

Untuk 2 elemen *array*, nilai *array factor* adalah :

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (\text{Pers 1.26})$$

Dan dinormalisasi menjadi :

$$(AF)_a = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (\text{Pers 1.27})$$

Dengan d adalah jarak pisah elemen. Sehingga untuk mencari sudut null (θ_n), yaitu pada saat medan listrik total $E_t = 0$, nilai AF diset menjadi nol, sebagai berikut:

$$\cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] = 0 \rightarrow \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) = \pm \left(\frac{2n + 1}{2} \right) \pi$$

$$\rightarrow \theta_n = \cos^{-1} \left(\frac{\lambda}{2\pi d} - [-\beta \pm (2n + 1)]\pi \right) \text{ (Pers 1.28)}$$

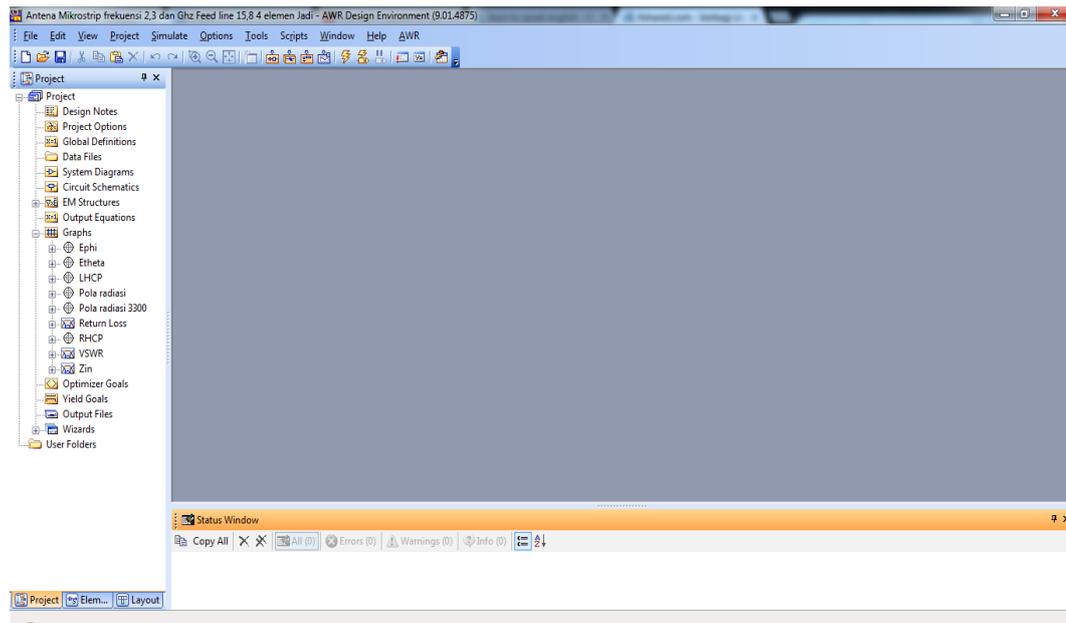
$n = 0, 1, 2, \dots$

2.1.11. Perangkat Lunak AWR *Design Environment* (MWO)

Dalam penelitian ini perangkat lunak yang digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antenna mikrostrip yang akan dibuat adalah perangkat lunak AWR *design environment*.

AWR *design environment* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang serta mensimulasikan antenna, dimana dalam pensimulasian tersebut dapat menentukan struktur antenna serta melihat parameter-parameter antenna. Dan pada perangkat lunak ini tools yang sering digunakan adalah :

- A. *Project Option* berfungsi untuk menentukan frekuensi kerja antenna
- B. *EM structure* berfungsi menentukan jenis substrat
- C. *Graph/measurment* berfungsi menentukan parameter instrumen pengukuran yang digunakan serta memperlihatkan hasil dari parameter tersebut
- D. *Run* berfungsi menjalankan simulasi antenna



Gambar 2.20 Perangkat lunak AWR design environment

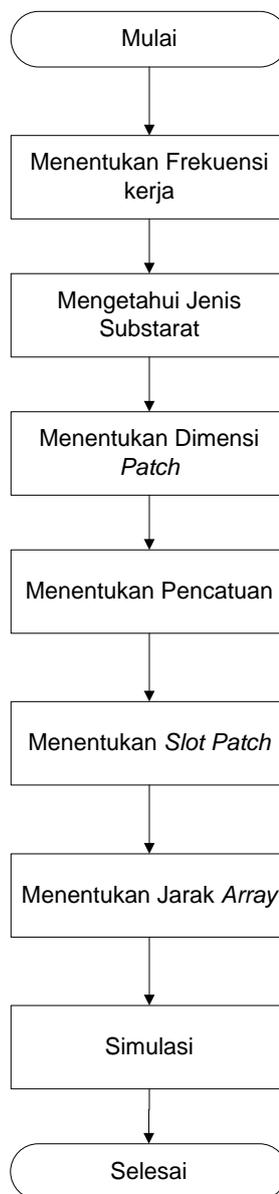
2.2. Kerangka Berpikir

Dengan didasari oleh teori – teori diatas, dapat diketahui bahwa untuk merancang antena mikrostrip maka perlu terlebih dahulu memahami parameter serta karakteristik dari sebuah antena mikrostrip. Untuk mengetahuinya diperlukan studi literatur yang komprehensif dan melakukan simulasi antena dengan menggunakan perangkat lunak serta melakukan pengukuran, sehingga alur penelitian tersebut jelas kemana arah penelitian yang akan dilakukan. Adapun tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Merancang serta membuat antena mikrostrip segiempat dengan dua frekuensi kerja. Adapun hal-hal yang diperhatikan dalam perancangan dan pembuatan antena adalah :

- a. Menentukan frekuensi kerja antena
 - b. Mengetahui jenis dari substrat yang digunakan seperti dielektrik konstanta, ketebalan substrat dan yang lainnya. Karena dengan mengetahui jenis substrat dan maka selanjutnya dapat menentukan lebar dan panjang dari patch antena, pencatuan yang digunakan
 - c. Menentukan dimensi *patch* antena, karena dengan menentukan dimensi tersebut maka dapat mengetahui apakah antena dapat bekerja pada frekuensi yang ditentukan.
 - d. Menentukan pencatuan antena, karena dengan menentukan pencatuan tersebut maka dapat mengetahui penyesuaian impedansi antena.
 - e. Menentukan slot pada *patch* untuk mendapatkan dua frekuensi kerja antena.
 - f. Menentukan jarak susunan (*array*) antena agar tidak saling tumpang tindih
2. Mengetahui karakteristik atau parameter antena, ada beberapa hal untuk mengetahuinya parameter dari sebuah antena yaitu dengan melakukan pengujian baik itu secara simulasi maupun pengukuran. Secara simulasi yang dilakukan adalah mengatur *measurement* antena dan selanjutnya akan terlihat grafik dari parameter antena (*return loss* VSWR, impedansi masukan, *bandwidth*, dan lain-lain). Sedangkan secara pengukuran untuk melihat parameter dari antena dengan melakukan dua pengukuran. Yang pertama

pengukuran port tunggal, dalam hal ini parameter yang terlihat adalah *return loss*, *VSWR bandwidth* serta impedansi masukan, sedangkan yang kedua adalah pengukuran port ganda, dalam hal ini parameter yang akan terlihat adalah pola radiasi serta *gain* dari antenna.



Gambar 2.21 Alur penelitian