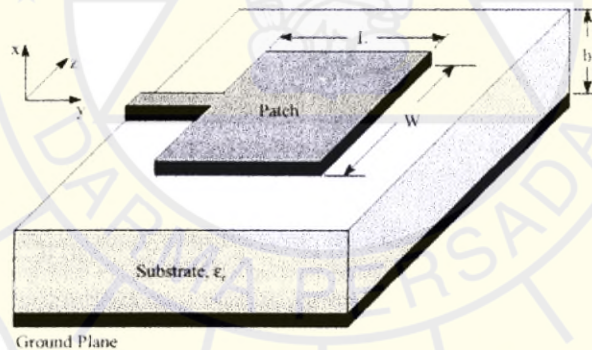


BAB II

TEORI DASAR ANTENA MIKROSTRIP

2.1. Struktur Antena Mikrostrip

Teknologi mikrostrip merupakan sebuah medium (*substrate*) yang memiliki karakteristik dielektrik yang dapat digunakan untuk menghantarkan atau mempropagasikan gelombang elektromagnetik melalui teknologi MIC (*Microwave Integrated Circuit*) untuk frekuensi gelombang mikro. Sebagai media propagasi gelombang elektromagnetik, maka secara karakteristik dapat dibuat untuk suatu rancangan sebuah antena mikrostrip dilakukan melalui dua tahap, yaitu : pertama merancang model saluran transmisi dan kedua merancang ukuran dan model peradiasi atau radiator.



Gambar 2.1. Struktur Antena Mikrostrip

Dalam bentuk yang paling dasar, sebuah antena mikrostrip terdiri dari sebuah *patch* yang memancar di sisi *substrate* dielektrik yang memiliki bidang tanah di sisi lain dan saluran transmisi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Elemen peradiasi (radiator) berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut sebagai radiator *patch* dan terbentuk dari

lapisan logam metal yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktifitas 5.8×10^7 S/m. Ada beberapa jenis radiator *patch* berdasarkan bentuknya, diantaranya *rectangular* (segiempat), *triangular* (segitiga), lingkaran, dll. *Substrate* merupakan dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth* dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat ketebalan *substrate* jauh lebih besar dari pada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal *substrate* maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*).

Untuk *substrate* komersial yang tersedia umumnya memiliki dua data ukuran property fisik, yaitu : konstanta dielektrik atau *permittivity* (ϵ_r) dan *loss tangent* ($\tan\delta$). Pada rancang bangun jenis *substrate* yang digunakan adalah RT/duroid 5880 yang memiliki spesifikasi : *loss tangent* 0,002, konstanta dielektrik 2,20 dan ketebalan 1,57 mm.

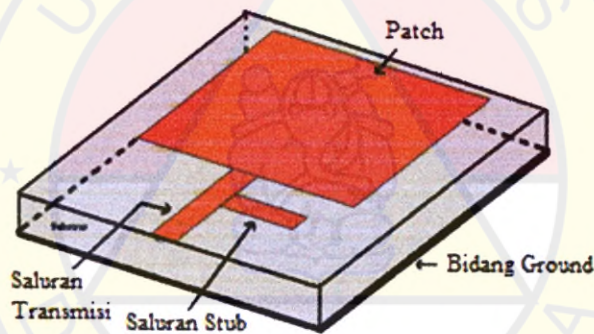
2.2. Feeding Tecnicque

Antena *patch* mikrostrip dapat diberikan saluran pencatu *patch* dengan berbagai metode. Metode ini dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu kontak langsung dan tidak kontak langsung. Dalam kategori kontak langsung, daya radio frekuensi disalurkan langsung ke *patch* menggunakan elemen penyambung seperti mikrostrip *line*. Dalam skema saluran yang tidak kontak langsung yaitu pengkoplingan medan elektromagnetik dilakukan untuk

mentransfer daya antara mikrostrip *line* dan *patch* yang diradiasi. Empat teknik yang paling populer digunakan adalah mikrostrip *line*, probe koaksial (untuk dua kategori kontak langsung), kopling *aperture* dan kedekatan pengkoplingan (untuk dua kategori yang tidak kontak langsung).

2.2.1. Mikrostrip *Line Feed*

Pada jenis teknik saluran ini, sebuah garis langsung terhubung ke tepi dari *patch* Mikrostrip seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Saluran strip tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran *patch* dan dalam hal ini saluran dapat dibuat satu sket dengan *substrate* yang sama dan disebut struktur planar.



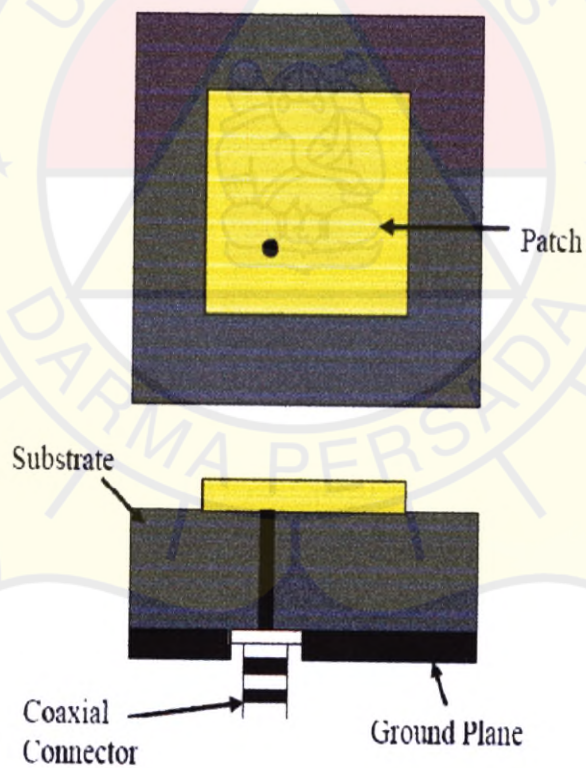
Gambar 2.2. Mikrostrip *Line Feed*

Tujuan dari penyisipan *cut in* dalam *patch* ini adalah untuk mencocokkan impedansi dari saluran terhadap *patch* tanpa memerlukan penambahan elemen *matching* lainnya. Hal ini dapat dicapai dengan benar dengan melakukan kontrol yang tepat pada posisi penyisipan. Maka hal ini merupakan skema pembuatan saluran yang mudah, karena memberikan kemudahan fabrikasi dan kesederhanaan dalam pemodelan serta pencocokkan impedansi. Namun dengan

ketebalan dielektrik substrat yang digunakan, gelombang permukaan dan radiasi saluran palsu juga meningkat, yang dapat menghambat *bandwidth* dari antena. Radiasi saluran juga menghasilkan radiasi terpolarisasi yang tidak diinginkan.

2.2.2. Coaxial Feed

Feed Coaxial atau saluran probe adalah teknik yang sangat umum digunakan untuk saluran Mikrostrip *patch* antena. Seperti yang terlihat dari Gambar 2.3. bagian dalam konduktor dari suatu konektor koaxial melewati bagian dielektrik substrat dan di solder ke *patch* radiasi, sedangkan bagian luar konduktor terhubung ke *ground plane*.



Gambar 2.3. Probe makan Mikrostrip *Rectangular*

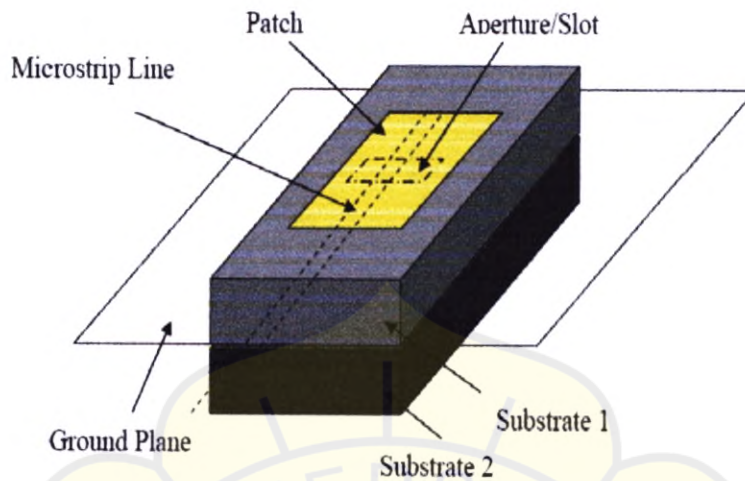
Keuntungan utama dari jenis saluran ini adalah saluran dapat ditempatkan di setiap lokasi yang kita inginkan di dalam *patch* agar sesuai dengan impedansi input. Saluran ini adalah metode yang mudah untuk dibuat dan memiliki radiasi palsu yang rendah. Namun, faktor utama kelemahannya adalah bahwa saluran ini bekerja pada *bandwidth* yang sempit dan sulit untuk pemodelan karena lubang harus dibor di substrat dan konektor menonjol di luar bidang tanah, sehingga tidak membuat sepenuhnya planar untuk ketebalan substrat ($h > 0.02\lambda_0$). Juga, untuk substrat yang lebih tebal, peningkatan panjang probe akan membuat impedansi masukan yang lebih induktif, menjadi masalah utama dalam *matching* impedansi. Hal ini terlihat di atas bahwa untuk substrat dielektrik tebal, yang menyediakan *broadband bandwidth*, saluran mikrostrip dan saluran koaksial mempunyai berbagai kelemahan. Untuk itu teknik saluran tanpa koneksi langsung sebagaimana yang telah didiskusikan di bawah ini akan menjawab permasalahan ini.

2.2.3. Saluran *Aperture Coupled*

Dalam jenis teknik saluran ini, radiasi *patch* dan saluran mikrostrip dipisahkan oleh bidang tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Penghubung antara *patch* dan saluran dilakukan melalui slot atau *aperture* pada bidang tanah.

Bukan kopling biasanya berpusat di bawah *patch*, yang mengarah ke lebih rendah *cross polarization* karena simetri konfigurasi. Jumlah kopling dari saluran untuk *patch* ditentukan oleh bentuk, ukuran dan lokasi *aperture*. Karena *ground*

plane memisahkan *patch* dan saluran, maka radiasi yang tersebar dapat diminimalkan.



Gambar 2.4. Saluran *Aperture Couple*

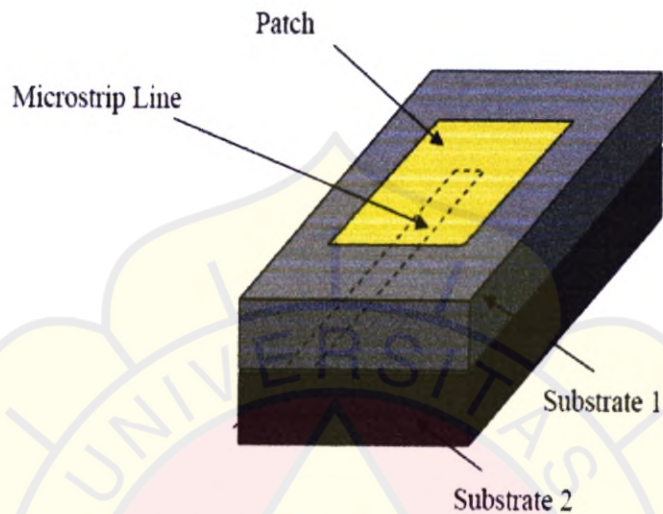
Secara umum, bahan dielektrik yang tinggi digunakan untuk substrat dasar dan lebih tebal, untuk material yang memiliki dielektrik konstan yang rendah digunakan untuk substrat atas agar mengoptimalkan radiasi dari *patch*. Kerugian utama dari teknik saluran ini adalah sulit untuk di fabrikasi karena terdiri dari multiple layer, yang juga dapat meningkatkan ketebalan antenna. Skema saluran ini juga menyediakan *bandwidth* yang sempit.

2.2.4. Saluran Proximity Coupled

Jenis teknik saluran ini juga disebut sebagai skema kopling elektromagnetik. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5. digunakan dua substrat dielektrik dan garis saluran diantara kedua substrat tersebut dan radiasi *patch* berupa pada bagian atas pada substrat teratas.

Keuntungan utama dari teknik ini adalah bahwa saluran dapat menghilangkan radiasi palsu dan dapat menyediakan *bandwidth* yang sangat

tinggi (sekitar 13%), dikarenakan oleh kenaikan keseluruhan ketebalan mikrostrip antenna *patch*. Skema ini juga menyediakan pilihan antara dua bahan media dielektrik yang berbeda, satu untuk *patch* dan satu untuk saluran untuk mengoptimalkan individu performance.



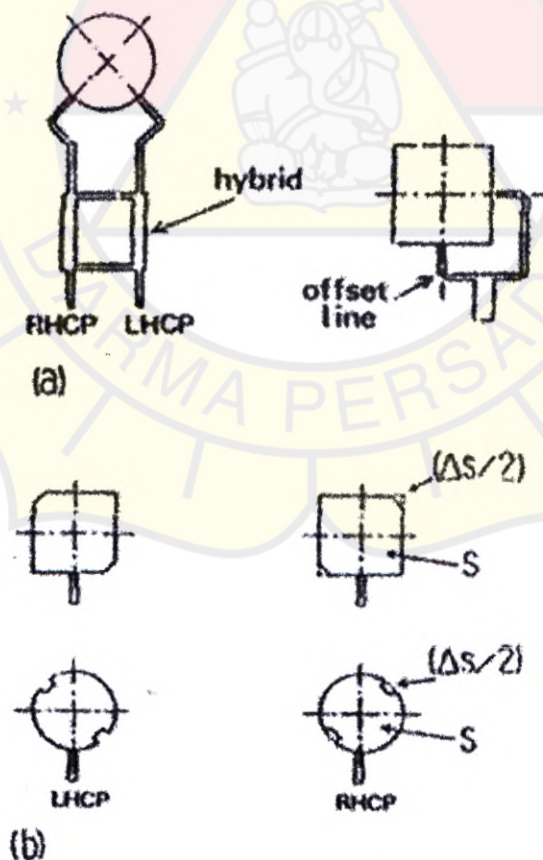
Gambar 2.5. Saluran Proximity Coupled

Matching dapat dicapai dengan mengontrol panjang garis saluran dan lebar ke garis rasio *patch*. Kerugian utama dari skema saluran ini adalah sulit untuk fabrikasi, karena penggabungan dua layer *substrate* yang berbeda dielektrik perlu penggabungan yang akurat. Juga ada peningkatan ketebalan dari keseluruhan antenna.

2.3. Teknik Pencatuan Polarisasi Circular

Pada sistem antenna mikrostrip penggunaan teknik pencatu menjadi sangat penting, agar diperoleh hasil polarisasi tertentu. Antena mikrostrip memiliki polarisasi circular, hal ini disebabkan apabila digunakan polarisasi linier maka akan sulit melakukan penyesuaian polarisasi (polarisasi tracking) antara antenna

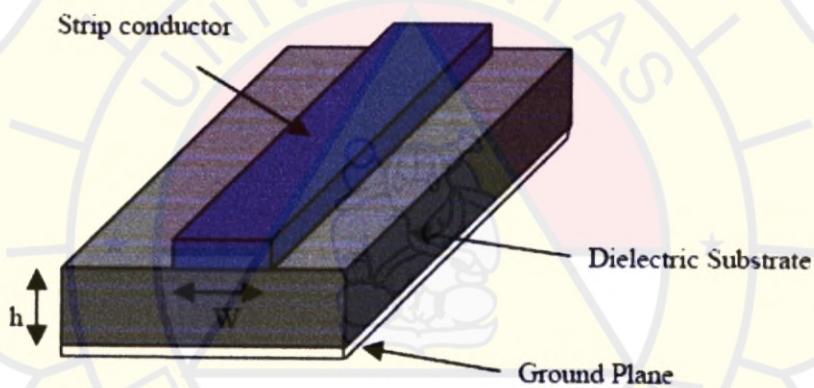
satelit dan antenna bumi yang posisi keduanya tidak tetap. Secara umum teknik pencatuan untuk antenna mikrostrip hasil polarisasi lingkaran dapat dikategorikan dalam dua jenis saluran pencatu, yaitu : teknik catu tunggal dan teknik catu ganda. Umumnya paling banyak digunakan untuk polarisasi lingkaran model catu tunggal, teknik ini dilakukan dengan melakukan arah putaran arus dengan pemberian *slot* atau pemotongan sudut pada sisi *patch* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. (b). Sedangkan penggunaan teknik catu ganda dengan melakukan pengaturan dari sisi sistem pencatunya seperti pada Gambar 2.6. (a), merupakan dasar antenna dengan konfigurasi dua saluran ganda eksternal polarisasi 3 dB Hybrid atau offset feeding line. Teknik catu ganda memudahkan untuk hasil polarisasi lingkaran tanpa mengubah bentuk pada patch radiator.



Gambar 2.6. Model Pencatuan polarisasi lingkaran

2.4. Saluran Transmisi

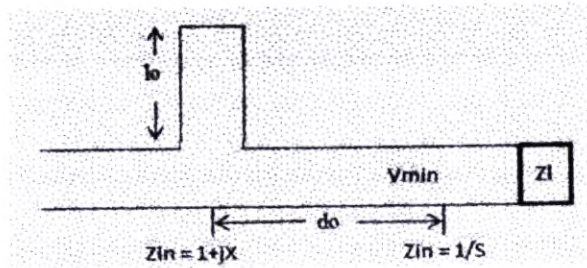
Saluran transmisi merupakan suatu media rambatan bagi gelombang yang dikirimkan dari sumber ke beban. Bagian dari sistem antenna adalah saluran transmisi yang dihubungkan dengan *patch* antenna. Karakteristik dan dimensi saluran transmisi mikrostrip ditentukan oleh nilai konstanta dielektrik relatif *substrate* dan loss tangen. Pada Gambar 2.7. sebuah saluran transmisi dirancang diatas sebuah substrat dengan ukuran lebar konduktor (w) dimana ketebalan substrate (h) dengan konstanta dielektrikum permeabilitas bahan (ϵ_r) dan lapisan bawah media ground.



Gambar 2.7. Saluran Transmisi Mikrostrip

2.4.1. Tuning Stub

Ketika sebuah beban dihubungkan ke generator yang berfungsi sebagai saluran transmisi dapat menimbulkan panjang gelombang yang lebar. Untuk itu diperlukan cara agar didapat matching impedansi beban dan generator terhadap saluran transmisi. Teknik penggunaan tuning stub digunakan untuk mendapatkan matching impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Serial Stub

Nilai l_0 dan d_0 didapat dengan persamaan :

$$d_0 = \frac{\lambda_g}{4\pi} \cos^{-1} \frac{S-1}{S+1} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$l_0 = \frac{\lambda_g}{2\pi} \tan^{-1} \frac{\sqrt{S}}{S-1} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana S adalah standing wave ratio, dan λ_g adalah panjang gelombang guide dalam milimeter. Untuk mencari λ_g dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

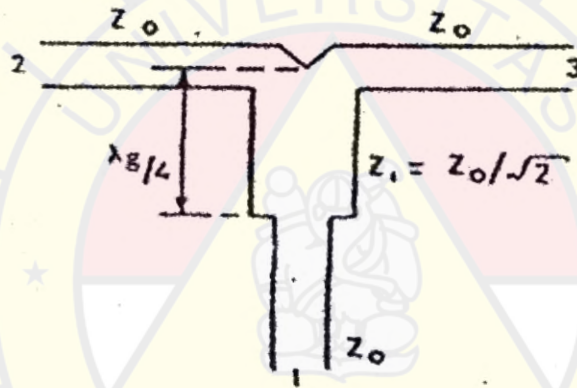
Dimana λ_0 adalah panjang gelombang di udara dalam milimeter, f_0 adalah frekuensi resonansi *Hertz*, dan $\epsilon_{r\text{eff}}$ adalah konstanta dielektrik efektif.

2.4.2. Rangkaian *Transformer*

Rangkaian *Transformer* adalah sebuah saluran yang memiliki satu buah untuk menyalurkan gelombang peradiasi ke beban *patch* antenna. Desain *Transformer*, ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Pada awal saluran memiliki karakteristik impedansi $Z_0 = 50$ Ohm, untuk menghubungkan dengan saluran yang bercabang dua yang berbentuk (T) dengan saluran Z_0 awal diperlukan

sebuah quarter-wave transformer yang memiliki karakteristik impedansi $\frac{Z_0}{\sqrt{2}}$ atau sama dengan 35-36 Ohm dan yang panjangnya $\frac{1}{4} \lambda_g$ fungsinya untuk membagi input impedansi saluran dan output tetap 50Ω.

Kemudian transformer tersebut di sambungkan dengan saluran (2) dan (3) sebagai saluran penyambung antara saluran pencatu dengan antena peradiasi (Patch Radiator). Secara umum penggunaan rangkaian transformer sangat mendukung untuk digunakan sebagai rangkaian pencatu antena mikrostrip dengan polarisasi lingkaran.



Gambar 2.9. Rangkaian Transformer

Untuk panjang Transformer didapat melalui persamaan :

$$L = \frac{1}{4} \lambda_g \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk nilai Impedansi Transformer melalui persamaan :

$$Z_1 = \frac{Z_0}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana Z_1 adalah impedansi transformer dalam ohm, Z_0 adalah impedansi karakteristik saluran dalam ohm.

Bentuk triplate dari jenis splitter dapat dianalisis dengan menerapkan teknik modus yang cocok untuk model *Waveguide* setara persimpangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Untuk koefisien refleksi yang dipilih pada *port output* analisis ini mampu mengevaluasi koefisien refleksi pada port input. S-parameter dari persimpangan ini maka fungsi sederhana dari koefisien-koefisien dan impedansi baris.

2.4.3. Konstanta Efektif Permittifitas Dielektrikum Relatif

Analisa parameter impedansi karakteristik dari mikrostrip secara dimensional dibatasi oleh nilai rasio antara lebar strip konduktor dengan ketebalan dielektrikum bahan (*substrate*). Konstanta permittifitas dielektrikum relative efektif diperlukan untuk menentukan hubungan bahan dari kedua dielektrikum yaitu substrat dan plat konduktor.

Konstanta dielektrik efektif ($\epsilon_{r\ eff}$) untuk $w/h \geq 1$ melalui persamaan:

$$\epsilon_{r\ eff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana w adalah lebar konduktor dalam milimeter, h adalah ketebalan substrat milimeter, ϵ_r adalah konstanta dielektrik substrat, dan $\epsilon_{r\ eff}$ adalah konstanta dielektrik efektif.

2.4.4. Karakteristik Impedansi

Salah satu parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran mikrostrip adalah impedansi karakteristik (Z_0). Impedansi karakteristik,

induktansi dan kapasitansi saluran transmisi ditentukan oleh besaran fisik saluran. Pada saluran mikrostrip nilai impedansi karakteristik ditentukan oleh lebar saluran atau konduktor (w), tinggi material substrat (h) dan konstanta dielektrik relative (ϵ_r). Impedansi karakteristik merupakan hambatan dari saluran mikrostrip yang terjadi sepanjang saluran yang secara analisis dapat ditentukan melalui persamaan untuk nilai $w/h \geq 1$:

$$Z_0 = \frac{[120\pi(\epsilon_{r\text{eff}})^{-\frac{1}{2}}]}{\frac{w}{h} + 1,393 + 0,667 \ln(1,444 + \frac{w}{h})} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana Z_0 adalah impedansi karakteristik saluran dalam ohm, ϵ_r adalah konstanta dielektrik relative substrat, $\epsilon_{r\text{eff}}$ adalah konstanta dielektrik efektif, h adalah ketebalan substrat dalam milimeter, dan w adalah lebar saluran mikrostrip dalam milimeter.

2.4.5. Kerugian Saluran Transmisi

Mikrostrip sebagai media saluran transmisi yang bekerja pada frekuensi tinggi akan menghasilkan rugi-rugi bersifat meredam, terutama yang ditimbulkan oleh factor dielektrikum bahan (substrate) dan konduktor.

2.4.5.1 Rugi konduktor

Besarnya rugi konduktor pada mikrostrip menurut Hammerstad dan Bekkadal dinyatakan dengan persamaan :

$$\alpha_c = 0,072 \frac{\sqrt{f}}{w Z_0} \lambda_g \quad (\text{dB}/\lambda_g) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana f adalah frekuensi operasi Hertz, λ_g adalah panjang gelombang guide milimeter, w adalah lebar konduktor dalam milimeter, Z_0 adalah impedansi karakteristik dalam ohm(Ω), dan α_c adalah rugi konduktor (dB/λ_g).

2.4.5.2 Rugi Dielektrikum

Rugi dielektrikum lebih disebabkan oleh bahan medium sebuah *substrate* dengan loss tangent yang dimilikinya. Dinyatakan dengan persamaan :

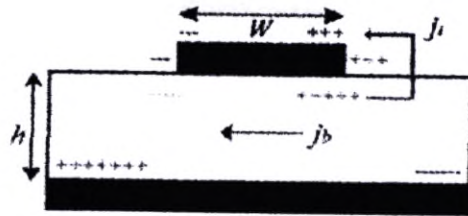
$$\alpha_d = 27,3 \frac{\epsilon_r(\epsilon_{r \text{ eff}} - 1) \tan \delta}{\epsilon_{r \text{ eff}}(\epsilon_{r \text{ eff}} - 1)} \quad (\text{dB}/\lambda_g) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana $\tan \delta$ adalah Loss tangent, $\epsilon_{r \text{ eff}}$ adalah konstanta dielektrik efektif, ϵ_r adalah konstanta dielektrik substrat, dan α_d adalah rugi dielektrikum (dB/λ_g).

2.5. Model Cavity

Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki pita resonansi yang sempit, keadaan ini disebut juga *lossy cavities*. Antena mikrostrip menyerupai lubang-lubang yang dipenuhi oleh bahan dielektrik yang menghasilkan resonansi pada orde yang tinggi. Nilai medan yang ternormalisasi di dalam *substrate* dielektrik yang dapat dicari dengan lebih akurat dengan mencermati daerah tersebut sebagai lubang (*cavity*) yang diselubungi oleh konduktor (yaitu di atas dan di bawah) dan di dinding magnet. Model ini merupakan model pendekatan yang berprinsip pada impedansi masukan reaktif dan tidak meradiasikan daya.

Ketika antena mikrostrip diberikan energi distribusi muatan dibentuk pada bagian atas dan bagian bawah permukaan dari pada *patch* tersebut, dan juga pada bagian pentanahan (*ground*). Distribusi muatan dikendalikan oleh dua mekanisme, yaitu mekanisme *atraktif* dan mekanisme *repulsive*. Mekanisme *atraktif* terjadi diantara muatan-muatan yang berlawanan pada bagian bawah *patch* dan bagian *ground* yang cenderung untuk mempertahankan konsentrasi muatan pada bagian bawah *patch*. Mekanisme *repulsive* terjadi diantara muatan-muatan pada bagian bawah permukaan *patch* yang memiliki kecenderungan untuk mendorong berupa muatan pada bagian bawah *patch* ke bagian atasnya melalui ujung-ujung *patch* tersebut. Karena kebanyakan antena mikrostrip memiliki nilai *ratio height to width* yang kecil, mekanisme *atraktif* menjadi dominan dan kebanyakan konsentrasi muatan berada pada bagian bawah *patch*. Arus dalam jumlah yang kecil mengalir melalui ujung *patch* ke bagian atas permukaan *patch*. Aliran arus semakin kecil seiring dengan semakin mengecilnya nilai *ratio height to width*. Kedua jenis mekanisme diperlihatkan pada gambar 2.10. beserta kerapatan arus (J) dapat diasumsikan bahwa besaran arus yang mengalir ke atas permukaan *patch* adalah nol, sehingga tidak menyebabkan adanya medan magnet tangensial ke ujung *patch*. Hal ini menyebabkan keempat dinding samping menyerupai permukaan medan konduksi yang sempurna sehingga tidak mengganggu medan magnetik menyebabkan distribusi medan elektrik tetap di bawah permukaan *patch*.

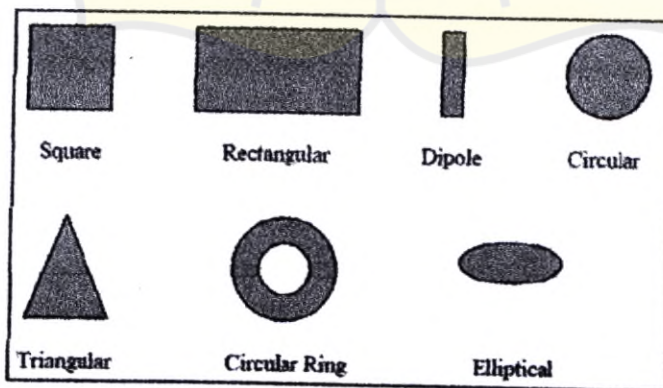


Gambar 2.10. Distribusi muatan dan arus yang berbentuk pada *patch* mikrostrip

Cavity model merupakan dasar perhitungan yang banyak digunakan untuk analisis suatu *patch* antenna mikrostrip. Sedangkan bentuk atau metode persamaan integralnya dinyatakan sebagai *Method of Moment* yang dikenal secara umum, dimana dalam penerapannya dilakukan dengan pendekatan komputasi maupun atau dengan cara pendekatan fisik.

2.6. Model Patch

Peradiasi atau *patch* radiator merupakan komponen utama dari suatu antenna mikrostrip, dimana pola propagasi gelombang elektromagnetik akan dipancarkan pada ruang bebas atau udara. Ada beberapa model *patch* antenna yang dapat digunakan pada ruang bebas atau udara, model *patch* antenna yang dapat digunakan di dalam merancang suatu antenna mikrostrip, seperti : Bujur sangkar, persegi empat, ring dan ellips. Bentuk *patch* radiator antenna mikrostrip ditunjukkan pada gambar 2.11.



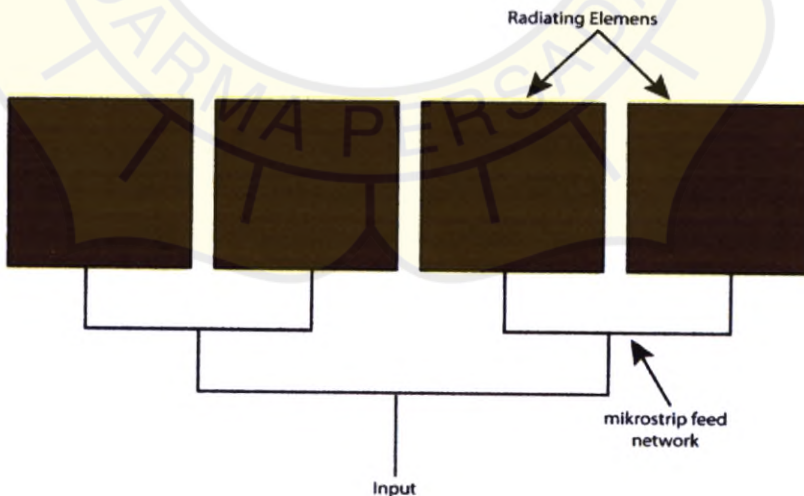
Gambar 2.11. Bentuk dasar *patch* antenna mikrostrip

Bentuk rancangan dari *patch* antena dalam perancangan ini menggunakan model bujur sangkar didasarkan ukuran yang lebih kecil dan fleksibel dalam penempatan posisi. Peradiasi dirancang dengan alasan minimalis terhadap ukuran model lainnya seperti : segi tiga, lingkaran dan pentagonal.

2.6.1. Feed Network Susun Linear

Teknik mikrostrip susun merupakan suatu cara membangun antena dengan menempatkan multi elemen dalam rangkaian untuk frekuensi *microwave*. Susun dari suatu elemen dapat dibuat melalui distribusi dalam bentuk *linear*, *planar*, atau *volume* susun.

Prinsip umum rancangan untuk susun linear menggunakan bentuk saluran *corporate* (gabungan) dan saluran seri. Gambar 2.12 merupakan bentuk dari saluran seri susun linear, dimana rangkaian dengan menggunakan satu *port input* dan dihubungkan ke beberapa saluran transmisi secara parallel sebagai *port output*. Untuk masing-masing dari ujung saluran sebagai terminal dengan elemen peradiasi.

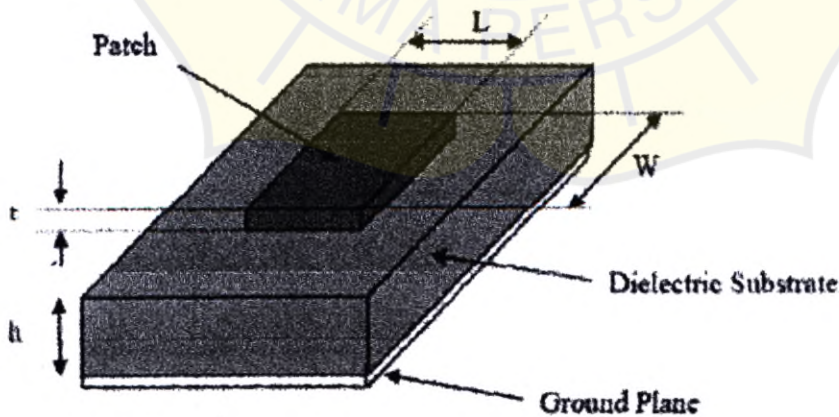


Gambar 2.12. Konfigurasi susun linear simetris

Bentuk simetris saluran paralel dapat digunakan dengan memasukkan suatu *power divider* untuk memperoleh distribusi *aperture* yang *uniform* dan hal ini dapat dilakukan untuk beberapa jenis *power divider* yang berbeda. Dalam prakteknya rangkaian saluran paralel *divider T-junction*, tetapi umumnya untuk memperoleh impedansi seimbang menggunakan *transformer* $\frac{1}{4} \lambda g$.

2.6.2. Patch Bujur Sangkar

Perancangan sebuah *patch* peradiasi dari sebuah antena microstrip dibuat pada sisi permukaan lapisan atas dari dielektrik *substrate*. Salah satu bentuk umum dari *patch* peradiasi adalah persegi panjang, selain bentuk lingkaran. Gambar 2.13 memperlihatkan struktur sebuah *patch* dari antena mikrostrip pada lapisan permukaan dielektrik *substrate* dengan ketebalan (h), dimana *patch* persegi panjang dengan dimensi ukuran panjang (L) dan lebar (W) dengan ketebalan (t) konduktor *patch*. Pada sisi lapisan bawah konduktor dijadikan sebagai bidang *ground*.



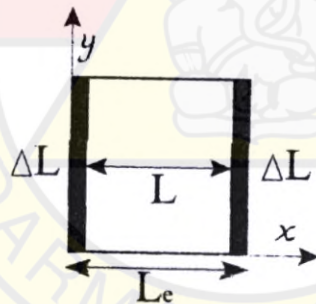
Gambar 2.13. Tampilan struktur patch antenna bujur sangkar

Bentuk struktur dari *patch* persegi panjang terhadap frekuensi resonansi (f_r) dipengaruhi oleh mode dominan propagasi gelombang tranverse magnetik TM_{mn} , dimana m dan n mode orde.

Untuk sisi panjang efektif *patch* bujur sangkar dengan pertimbangan terhadap efek *fringing* pada sisi tepi peradiasi dipeluas dengan menambahkan ΔL seperti yang terlihat pada gambar 2.14. Besarnya ΔL dapat diperhitungkan dengan persamaan :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \left[\frac{(\epsilon_{r\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{r\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8\right)} \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana ΔL adalah *effek fringing* dalam milimeter, $\epsilon_{r\text{eff}}$ adalah konstanta dielektrik efektif, h adalah ketebalan substrat dalam milimeter, dan w adalah lebar saluran mikrostrip dalam milimeter.



Gambar 2.14. Efek *fringing patch radiator*

Sehingga panjang efektif untuk sisi *patch* bujur sangkar diperoleh melalui persamaan:

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana ΔL adalah *effek fringing* dalam milimeter, L_{eff} adalah lebar efektif dalam milimeter, dan L adalah sisi patch dalam milimeter. Jika frekuensi resonansi telah diketahui maka dari persamaan (2.13) untuk nilai L_{eff} dapat diberikan menjadi :

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana f_0 adalah frekuensi resonansi dalam Hertz, c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik substrat. Untuk frekuensi resonansi sendiri diperoleh melalui persamaan :

$$f_0 = \frac{c}{2 \sqrt{\epsilon_r}} \left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana f_0 adalah frekuensi resonansi dalam Hertz, ϵ_r adalah konstanta dielektrik substrate, nilai m dan n model adalah *respective* terhadap nilai L dan W . Dimana bentuk antenna persegi ukuran lebar (W) dan panjang (L) adalah sama $W=L$. Untuk mode dominan TM_{10} maka panjang sisi (L) patch persegi panjang diberikan dengan persamaan :

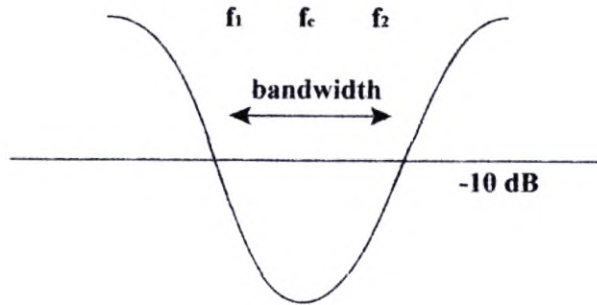
$$L_{10} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (2.15)$$

2.7. Parameter Umum Antena Mikrostrip

Ada beberapa parameter-parameter yang harus digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip, yaitu : bandwidth, return loss, VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), Input Impedance, Axial Ratio, dan gain.

2.7.1. Bandwidth

Bandwidth dari suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, polarisasi, *bandwidth*, *polarisasi*, *gain*, efisiensi, *VSWR*, *Return loss*, *Axial Ratio*) memenuhi spesifikasi standar.



Gambar 2.15. Rentang frekuensi

Bandwidth dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$BW = f_h - f_l \text{ (Ghz)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana *BW* adalah *Bandwidth*, f_h adalah frekuensi tertinggi dalam (Ghz), f_l adalah frekuensi terendah (Ghz), dan f_0 adalah frekuensi resonansi dalam Hertz.

Untuk presentase nilai *bandwidth* dapat dituliskan dengan persamaan :

$$BW = \frac{(f_h - f_l)}{f_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

2.7.2. Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitude dari gelombang yang direflesikan terhadap amplitude gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitude dari gelombang yang direfleksikan (V_o) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_o+). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antenna). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi.

$$RL = 20 \log_{10} [\Gamma] \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana Γ adalah koefisien refleksi.

$$[\Gamma] = \frac{VSWR-1}{VSWR+1}$$

Maka nilai $VSWR \leq 2$ sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direflesikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirim atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.7.3. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitude 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 direflesikan (V_{0-}), sinyal yang dipantulkan dapat terjadi karena adanya ketidaksesuaian antara impedansi beban dan impedansi saluran. Ketidaksesuaian ini akan berpengaruh terhadap besarnya daya yang dapat ditransmisikan. Perbandingan antara tegangan yang direflesikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ):

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang mempresentasikan besarnya magnitude dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka :

- $\Gamma = -1$: refleksi negative maksimum, ketika saluran terhubung singkat.
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna.

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

Kondisi 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. Oleh karena itu, nilai standar VSWR untuk rangkaian mikro yang baik untuk fabrikasi antenna adalah VSWR 1 sampai 2.

2.7.4. Input Impedansi

Impedansi masukan adalah perbandingan (ratio) antara tegangan dengan arus. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana Z_{in} adalah impedansi input dalam Ohm, Z_0 adalah impedansi saluran dalam Ohm, dan Z_L adalah impedansi beban dalam Ohm.

Diantara Z_{in} merupakan perbandingan antara jumlah tegangan (tegangan masuk dan tegangan refleksi (V) terhadap jumlah arus (I) pada setiap titik Z pada saluran, berbeda dengan karakteristik impedansi saluran (Z_0) yang berhubungan dengan tegangan dan arus pada setiap gelombang.

2.7.5. Axial Ratio

Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah gain maksimum. Pada prakteknya, polarisasi dari energy yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antena.

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan magnetudo vector medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu.

Polarisasi circular terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vector medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu, kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

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

Polarisasi circular terbagi menjadi dua, yaitu Left Hand Circular Polarization (LHCP), Right Hand Circular Polarization (RHCP). LHCP terjadi ketika $\delta = +\pi/2$, sebaliknya RHCP terjadi ketika $\delta = -\pi/2$.

Dari gambar 2.16. menyatakan bahwa $E_1 = E_2$ dan $\delta = +90^0$ dan LHCP ketika $\delta = +90^0$, maka Axial Ratio adalah perbandingan antara minor axis dan mayor axis, dengan rumus :

$$AR = 20 \log \frac{E_x}{E_y} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana AR adalah Axial Ratio, E_x adalah jarak dari sumbu x pada bagian sumbu OE, E_y adalah jarak dari sumbu y pada bagian sumbu OE, dengan amplitudo E_1 dan E_2 .