

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penulis [4] meneliti tentang perbedaan penggunaan jenis *material* FR4 dengan konstanta dielektrik 4,9 dengan *material Taconic* TLY-5-0600-CI/CI dengan konstanta dielektrik 2,2 pada *substate* antenna mikrostrip untuk aplikasi WiMAX. Antena mikrostrip yang digunakan yaitu antena mikrostrip jenis tunggal dengan frekuensi bawah sebesar 2,3 GHz dan frekuensi atas sebesar 2,4 GHz. Penelitian ini memperoleh hasil yang menyatakan bahwa pada saat antena dipasangkan menggunakan *substrate* jenis FR4 menghasilkan *gain* antena sebesar 1,55 dBi dan direktivitasnya sebesar 5,47 dBi. Sedangkan pada antena mikrostrip dengan jenis *substrate Taconic* TLY-5-0600-C1/C1 *gain* yang didapatkan lebih besar yaitu sebesar 7.10 dBi dan direktivitasnya sebesar 7,59 dBi. Pada antena mikrostrip dengan *substrate* jenis FR4 pada frekuensi 2.3 GHz menghasilkan *bandwidth* yang sama dengan pada antena mikrostrip yang menggunakan jenis *substrate Taconic* TLY-5-0600-C1/C1 yaitu menghasilkan *bandwidth* sebesar 30 MHz. Pada antena mikrostrip dengan *substrate* jenis FR4 memiliki nilai HPBW 93° (E-plane) dan 104° (H-plane), sedangkan pada antena mikrostrip yang menggunakan jenis *substrate Taconic* TLY-5-0600-C1/C1 memiliki nilai HPBW 75° (E-plane) dan 81° (H-plane). Pada penelitian ini juga dikatakan bahwa pada penggunaan *substrate* FR4 bukanlah material terbaik dalam perancangan antena mikrostrip sebagai komunikasi radio.[4]

Penulis [3] membahas mengenai penggunaan *substate* alumina pada antena mikrostrip *single patch* berbentuk persegi untuk meningkatkan *gain* pada antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz sampai 3,4 GHz. Penggunaan jenis *substrate* alumina bertujuan untuk memperbaiki kinerja dari *gain*, *radiation resistance* dan efisiensi dari antena. Pola radiasi yang dihasilkan pada antena tersebut yaitu radiasi unidirectional dan polarisasi mendekati *circular*. *Gain* yang dihasilkan pada penelitian ini cukup kecil yaitu hanya sebesar 2,411 dB. Sedangkan hasil VSWR yang didapatkan pada penelitian ini yaitu $\leq 1,8$. dapat dikatakan bahwa antena mikrostrip dengan *substrate* menggunakan jenis *material* alumina cocok untuk komunikasi *wireless* bergerak, khususnya mendukung aplikasi WiMAX.[3]

Penulis [7] mengungkapkan adanya perubahan yang pesat dalam *gain* dan *bandwidth* akibat perbedaan permirivitas relatif yang berbeda dan nilai dari ketebalan pada bahan *substrate*. Dalam penelitian ini menggunakan 3 desain antena mikrostrip dengan bahan substrat yang berbeda-beda. Desain 1 menggunakan bahan FR-4 dengan nilai epsilon sebesar 4,3 digunakan sebagai bahan untuk substrat. Desain 2 menggunakan bahan RT-5880 dengan nilai

epsilon 2,2 digunakan sebagai bahan untuk substrat. Desain 3 menggunakan bahan TLC-30 dengan nilai epsilon 3, digunakan sebagai bahan untuk substrat. Ketebalan bahan *substrate* dari semua desain antenna mikrostrip disamakan yaitu menggunakan ketebalan sebesar 3,5 mm. Pada desain antenna mikrostrip 1 menghasilkan nilai *gain* sebesar 247,1 dB dengan *bandwidth* sebesar 247,1 MHz. Pada desain antenna mikrostrip 2 menghasilkan nilai *gain* sebesar 4,660 dB dengan *bandwidth* sebesar 129,7 MHz. Pada desain antenna mikrostrip 3 menghasilkan nilai *gain* sebesar 5,083 dB dengan *bandwidth* sebesar 177,2 MHz. Selain itu, Desain-1, Desain-2 dan Desain-3 memiliki efisiensi sebesar 60,13%, 61,51% dan 75,70% pada frekuensi yang diinginkan. Dapat diambil kesimpulan bahwa bahan substrat TLC-30 menunjukkan pilihan terbaik untuk aplikasi 5G dibandingkan antenna mikrostrip desain 1 menggunakan bahan substrat FR-4 dan desain ke 2 dengan bahan substrat RT-5880.[7]

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Teori Maxwell

Teori Maxwell dikemukakan oleh seorang fisikawan Inggris yang bernama James Clerk Maxwell pada tahun 1864.[13] Persamaan Maxwell terdiri dari 4 persamaan. Persamaan Maxwell pertama didasarkan pada hukum elektrostatik Gauss yang berbunyi “*when a closed surface integral of electric flux density is always equal to charge enclosed over that surface*”. Berikut adalah persamaan Maxwell pertama

$$\nabla \cdot D = \rho_v \quad 2.1$$

Keterangan

D : Rapat Fluk (C/m^3)

ρ_v : Rapat Muatan (C/m^3)

Persamaan Maxwell kedua didasarkan pada hukum Gauss tentang magnetostatik berbunyi “*closed surface integral of magnetic flux density is always equal to total scalar magnetic flux enclosed within that surface of any shape or size lying in any medium*”. Berikut adalah persamaan Maxwell kedua

$$\nabla \cdot B = 0 \quad 2.2$$

Keterangan

B : Medan Magnet (T)

Persamaan Maxwell ketiga didasarkan pada hukum Faraday-Lenz. Hukum Faraday berbunyi “*Whenever there are n-turns of conducting coil in a closed path placed in a time-varying magnetic field, an alternating electromotive force gets induced in each coil*”. Sedangkan

hukum lenz's menyatakan bahwa "An induced electromotive force always opposes the time-varying magnetic flux". Sehingga maxwell memperoleh persamaan

$$\nabla \cdot E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad 2.3$$

Keterangan

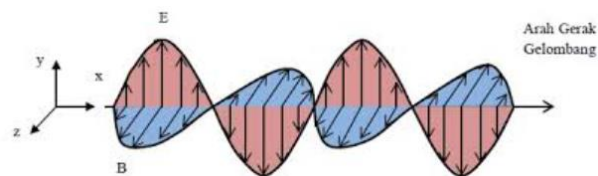
- E : Medan Listrik (V/m)
 B : Medan Magnet (T)
 T : Waktu (s)

Persamaan maxwell keempat didasarkan pada hukum rangkaian ampere. Bunyi dari hukum ampere yaitu "The closed line integral of magnetic field vector is always equal to the total amount of scalar electric field enclosed within the path of any shape". Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\nabla \cdot H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad 2.4$$

Keterangan

- H : Intensitas medan magnet (A/m)
 J : Rapat Arus (MA/m²)
 D : Rapat Fluks (C/m³)
 T : Waktu (s)



Gambar 2.1 Gelombang Elektromagnetik [13]

Gelombang elektromagnetik memiliki sifat sebagai berikut:

- Medan Listrik dan medan magnet terjadi pada waktu yang sama
- Arah dari medan listri dan magnet bersifat saling tegak lurus seperti pada Gambar 2.1
- Kuat dari medan Listrik dan medan magnet berbanding tegak lurus
- Arah perambatan medan Listrik dan medan magnet berbanding tegak lurus
- Dapat merambat pada ruang hampa
- Memiliki nilai mutlak yaitu $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Merupakan gelombang transversal
- Dapat mengalami pemantulan, pembiasan, polarisasi, interferensi dan difraksi.[15]

Spektrum dari gelombang elektromagnetik terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah, cahaya tampak, sinar ultraviolet, sinar-x, dan sinar gamma.[13]

2.2.2 Metamaterial

Metamaterial adalah material yang diolah menjadi bahan elektromagnetik yang susah didapat di alam. *Metamaterial* memiliki sifat yang mudah direkayasa pada permitivitas, permeabilitas, dan indeks refraksi. Hubungan antara material dan indeks bias diukur melalui indeks bias.

$$n = \pm\sqrt{\epsilon\mu} \quad 2.5$$

Keterangan

- N : Indeks refraksi
- ϵ : Permitivitas
- μ : Permeabilitas

Hubungan antara medan magnet dan medan listrik dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$D = \epsilon E \quad 2.6$$

$$B = \mu H \quad 2.7$$

$$J = \sigma E \quad 2.8$$

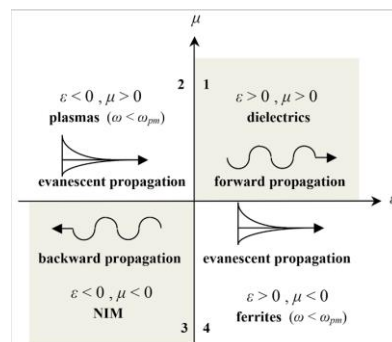
$$J = \rho_V V \quad 2.9$$

Keterangan

- D : Rapat Fluks (C/m^3)
- ϵ : Permitivitas
- B : Medan Magnet (T)
- μ : Permeabilitas
- J : Rapat Arus (MA/m^2)
- H : Intensitas medan magnet (A/m)
- V : Volume m^3

Persamaan pada 2.6 merupakan persamaan mengenai hubungan pergeseran medan listrik dengan medan listrik. Persamaan 2.7 membahas mengenai hubungan B dan H. pada persamaan 2.8 dan 2.9 menjelaskan mengenai kerapatan arus konduksi. Permitivitas suatu material merupakan respon sebuah material ketika dikenai oleh medan listrik. Sedangkan permitivitas adalah respon material ketika dikenai oleh medan magnet.[21] *Material natural* memiliki positif permitivitas elektrik, positif permeabilitas magnetik, dan positif indeks refraksi. Sedangkan *metamaterial* memiliki negatif permitivitas elektrik, negatif permeabilitas

magnetik, dan negatif indeks refraksi. *Metamaterial* dibagi menjadi 2 tipe yaitu planar (1 dimensi atau 2 dimensi), dan volumetrik (3 dimensi). Tipe *metamaterial* planar memiliki kriteria yang ditandai dengan teori saluran transmisi. Sedangkan untuk tipe volumetrik memiliki kriteria yang ditandai dengan teori medan. [7] *Metamaterial* dapat diproses menggunakan 2 cara yaitu dengan proses kimiawi dan dengan proses elektromagnetisasi. *Material* dielektrik dikenal memiliki sifat yaitu dapat mengikat muatan listrik sedangkan konduktor memiliki sifat yaitu menggerakkan muatan listrik mengikuti arah kedatangan medan listrik. [7] Sifat positif pada *material natural* mengakibatkan terjadinya redaman fasa antenna sehingga *metamaterial* cocok diaplikasikan pada pembuatan antenna. Dengan menggunakan *metamaterial* sebagai bahan pembuatan antenna, dapat meminimalkan ukuran antenna, menambah *gain* serta berpengaruh pada *bandwidth*. *Metamaterial* juga memiliki tampilan yang berbeda yaitu *Split Ring Resonator (SRR)* dan *Double Ring Resonator (DRR)*. [8] *Metamaterial* memiliki sifat permitivitas (sifat *material* saat dipengaruhi medan listrik) dan permeabilitas (sifat *material* saat dipengaruhi medan magnet). Perbedaan pembagian metamaterial dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.2 Pembagian *Metamaterial* [9]

Berdasarkan nilai permitivitas dan permeabilitasnya, metamaterial dibagi menjadi 4 jenis, yaitu:

1. *Epsilon Negative Material*

Terjadi jika permitivitas bernilai negatif dan permeabilitas bernilai positif $\epsilon < 0, \mu > 0$. Contoh *material* dengan karakteristik tersebut yaitu beberapa *material* plasma.

2. *Double Positive Material*

Terjadi jika permitivitas bernilai positif dan permeabilitas bernilai positif $\epsilon > 0, \mu > 0$. Contoh *material* dengan karakteristik tersebut yaitu beberapa *material* dari

alam, dan *material* dielektri (isolator).

3. *Double Negative Material*

Terjadi jika permitivitas bernilai negatif dan permeabilitas bernilai negatif $\epsilon < 0, \mu < 0$. Contoh *material* dengan karakteristik tersebut yaitu *material* yang dibuat secara artifisial.

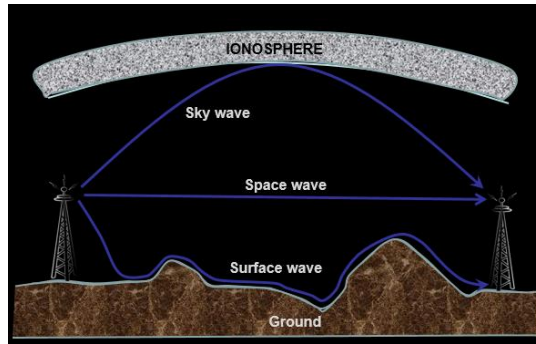
4. *Mu Negative Material*

Terjadi jika permitivitas bernilai negatif dan permeabilitas bernilai positif $\epsilon > 0, \mu < 0$. Contoh *material* dengan karakteristik tersebut yaitu beberapa *material gyrotropic*.

2.2.3 Antena Mikrostrip

Antena adalah alat yang digunakan untuk menyampaikan dan menerima informasi jarak jauh. Antena memiliki jenis yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan kebutuhannya. Antena yang banyak digunakan pada sistem telekomunikasi modern saat ini yaitu antena mikrostrip. Antena mikrostrip adalah antena yang memiliki dimensi yang kecil, dan sederhana sehingga mudah untuk diaplikasikan ke berbagai perangkat.

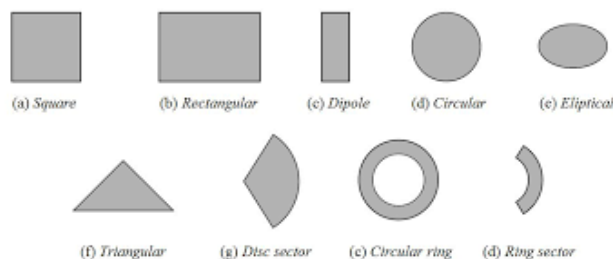
Secara historis, rangkaian mikrostrip awalnya memiliki sifat untuk memancarkan gelombang elektromagnetika. Tetapi kenyataannya, sifat memancarkan gelombang elektromagnetika pada struktur mikrostrip dianggap dapat mengganggu kinerja komponen lainnya maka struktur dari rangkaian mikrostrip direduksi sehingga rangkaian mikrostrip tidak boleh memancarkan gelombang elektromagnetik. Cara yang digunakan untuk mereduksi rangkaian mikrostrip adalah dengan menambahkan konstanta dielektrik yang besar dan *substrate* yang tidak terlalu tebal dibandingkan panjang dari gelombang. Sehingga konsentrasi dari medan elektromagnetika hanya akan berada pada sekitar rangkaian mikrostrip. Berbeda dengan konsep rangkaian mikrostrip, antena mikrostrip menginginkan hasil pemancaran yang maksimal. Untuk mendapatkan hasil pemancaran yang maksimal maka permitivitas relatif yang digunakan bernilai kecil dan *substrate* yang digunakan relatif tebal.



Gambar 2.3 Perambatan Gelombang [4]

Dengan menambah ketebalan pada *substrate* mengakibatkan semakin besar *bandwidth*, tetapi dapat mengakibatkan munculnya gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang permukaan terdapat pada Gambar 2.2. Gelombang permukaan pada antenna mikrostrip dianggap sebagai kerugian karena akan mengurangi sebagian dari daya dari antenna untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik kearah yang diinginkan. [1]

Antena mikrostrip memiliki bentuk yang berbeda-beda seperti: persegi (*square*), segiempat (*rectangular*), Dipole, lingkaran (*circular*), cincin (*ring*), bentuk segitiga sama sisi (*equilateral triangular*), elip (*elliptical*), dan *disc sector*, serta *ring sektor*. Bentuk dari antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.3. Bentuk segiempat dan lingkaran termasuk bentuk yang sering digunakan karena bentuknya yang sederhana. Berbeda dengan yang lainnya bentuk antenna mikrostrip berbentuk cincin membutuhkan 2 buah bidang lingkaran yang masing masing memiliki jari-jari luar dan jari jari dalam. Analisa terhadap bentuk-bentuk antenna mikrostrip menggunakan metode *cavity* atau model rongga. Model *cavity* adalah model yang mana geometri dari antenna dikelilingi oleh medan radiasi dan tiap dindingnya memiliki batas kondisi tertentu. Komponen arus dikatakan dalam kondisi normal ketika nilainya mendekati nol pada tepi antenna mikrostrip. Itu berarti bahwa komponen tangensial medan magnet pada tepi antenna sangatlah kecil sehingga nilainya dapat diabaikan.



Gambar 2.4 Bentuk Antena Mikrostrip [5]

Antena mikrostrip dapat diaplikasikan pada beberapa komunikasi satelit, telemetri, pengindraan jauh, GPS (*Global Positioning System*), Wimax dan radar. Penggunaa antena ini tidak hanya berfokus pada satu frekuensi tetapi dapat bekerja pada 2 frekuensi dalam satu waktu. Antena mikrostrip memiliki 4 bagian yang harus dimiliki, yaitu:

2.2.2.1 Elemen Peradiasi atau *patch* antenna

Patch antena adalah komponen antena mikrostrip yang berada dipaling atas dari semua sistem antena. *Patch* antena berfungsi sebagai elemen peradiasi gelombang elektromagnetik ke udara atau ruang bebas. *Patch* antena terbuat bahan-bahan yang mampu menghantarkan listrik atau bahan konduktor, seperti tembaga atau emas. Semakin kecil nilai dari *patch* mengakibatkan kecilnya daerah radiasi dan memperbesar ilai permitivitas relatif. Bentuk *patch* antena bermacam-macam, tetapi bentuk yang sering digunakan adalah bentuk segiempat dan lingkaran. Bentuk segiempat dan lingkaran cenderung sering digunakan karena dalam proses analisa lebih mudah dibandingkan bentuk lainnya. [5]

Pada *patch* antena berbentuk segiempat atau *rectangular* tiap sisinya memiliki simbol W_{patch} untuk lebar dari *patch* dan L_{patch} untuk panjang dari *patch* antena. Untuk mencari nilai dari lebar pada *patch* dapat dicari dengan persamaan berikut:[19]

$$W_{patch} = \frac{C}{2 \times f_c} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad 2.10$$

Keterangan:

- C : Kecepatan cahaya (m/s)
- f_c : Frekuensi kerja (Hz)
- ϵ_r : Konstanta dielektrik

Panjang dari *patch* antena dipengaruhi oleh konstanta dielektrik efektif, panjang elemen peradiasi efektif dan efek medan dari tepian *patch*. Panjang *patch* adalah nilai dari nilai panjang dari elemen patch efektif dengan efek dari tepian elemen *patch*. Berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai dari konstanta dielektrik efektif adalah:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} + 0,04 \left(1 + \frac{W}{h} \right)^2 \right], \quad W/h < 1 \quad 2.11$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right], \quad W/h \geq 1 \quad 2.12$$

Keterangan:

h : Tebal dari *patch* (mm)

Untuk mencari panjang elemen peradiasi efektif menggunakan persamaan berikut:

$$L_{eff} = \frac{C}{2f_c \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad 2.13$$

Persamaan untuk mencari efek medan listrik pada tepian *patch*, yaitu:[19]

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{eff} + 3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad 2.14$$

Sehingga untuk persamaan dari panjang *patch* yaitu:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad 2.15$$

2.2.2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi pada mikrostrip terdiri 2 konduktor yaitu *strip* dan bidang pertanahan (*groundplane*). Keduanya dipisahkan elemen *substrat*. Saluran transmisi terbuat dari bahan metal sama seperti *patch* dan *groundplane*. Saluran Transmisi memiliki bentuk segiempat. Untuk mencari nilai dari saluran transmisi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda_0 = \frac{C}{f_c} \quad 2.16$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad 2.17$$

$$L_{strip} = \frac{\lambda_g}{4} \quad 2.18$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad 2.19$$

$$W_{strip} = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) \times \frac{\epsilon_r - 1}{2 \times \epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad 2.20$$

Keterangan:

L_{strip} : Panjang saluran transmisi (mm)

λ_0 : Panjang gelombang (m)

λ_g : Panjang gelombang setelah dipengaruhi konstanta dielektrik efektif (m)

- B : Besar impedansi pada saluran (Ohm)
 W_{strip} : Lebar saluran transmisi (mm)

2.2.2.3 Substrate dielektrik

Substrate adalah komponen antenna mikrostrip yang kedudukannya berada diantara *patch* antenna dan *Ground plane* antenna. *Substrate* juga bisa diartikan sebagai perantara antara *patch* antenna dengan *Ground plane* antenna. *Substrate* terbuat dari bahan dielektrik yang memiliki nilai permitivitas relatif (ϵ_r). [6] Fungsi dari *substrate* yaitu sebagai media yang digunakan sebagai penyebrangan gelombang elektromagnetik dari catuan antenna mikrostrip. Besar kecilnya parameter-parameter antenna mikrostrip sangat dipengaruhi oleh karakteristik dari *substrate* antenna mikrostrip.[2] Tebal dari komponen *substrate* mempengaruhi besar kecilnya medan Listrik yang hilang. Sehingga celah dari analogi menjadi semakin lebar.[20] Persamaan untuk menghitung lebar dari *substrate*, yaitu:

$$W_{substrate} = 6h + W_{patch} \quad 2.21$$

Persamaan untuk menghitung panjang dari *substrate*, yaitu:

$$L_{substrate} = 6h + L_{patch} \quad 2.22$$

2.2.2.4 Bidang pertanahan atau *Ground plane*

Ground plane adalah komponen antenna mikrostrip yang berada pada urutan paling bawah dari semua sistem antenna mikrostrip. *Ground plane* memiliki sifat konduktor atau menghantarkan listrik. Fungsi dari *Ground plane* adalah sebagai *reflector* dari gelombang elektromagnetik. *Ground plane* biasanya menggunakan bahan yang sama dengan bahan pada *patch* antenna dan saluran transmisi antenna. Pada bidang *ground plane* berbentuk segiempat, sisi lebar dengan simbol W_{ground} dan panjang dengan simbol L_{ground} . *Ground plane* memiliki ukuran yang sama dengan ukuran dari *substrate* antenna. Persamaan untuk lebar *ground plane* dan panjang *ground plane*, yaitu: [2]

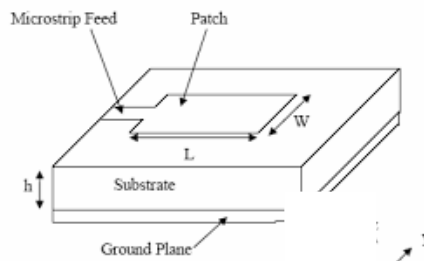
$$W_{ground} = W_{substrate} \quad 2.23$$

$$L_{ground} = L_{substrate} \quad 2.24$$

2.2.4 Teknik Pencatuan

Antena mikrostrip memiliki 2 cara untuk melakukan pencatuan, yaitu secara langsung atau *direct coupling* dan pencatuan secara tidak langsung atau *electromagnetic coupling*, skema dari perancangan antenna dengan pencatuan ini dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pencatuan antenna secara *direct coupling* atau *feed line* adalah teknik pencatuan dengan menghubungkan *patch* dengan konektor secara langsung (terdapat kontak langsung). Teknik

ini memiliki kelebihan, yaitu pemasangan saluran pencatu terbilang sangat sederhana dan mudah dalam proses pencatumannya. Namun kemudahan proses pencatutan tersebut hanya dapat dilakukan ketika hanya terdapat satu antenna 11 teknik 11 rip. Jika antenna 11 teknik 11 rip terpasang secara *array* dan dalam jumlah yang banyak maka proses pencatutan akan sangat sulit dilakukan menggunakan 11 teknik pencatutan secara langsung atau *direct coupling*. Selain proses pencatutan yang sangat sulit ketika dipasang secara *array*, antenna mikrostrip jika menggunakan 11 teknik pemasangan pencatu secara langsung juga memiliki kekurangan seperti besar pita frekuensi atau *bandwidth* yang dimiliki antenna tersebut sekitan 2%-5%. Angka tersebut termasuk kedalam kriteria besar *bandwidth* yang sangat kecil.

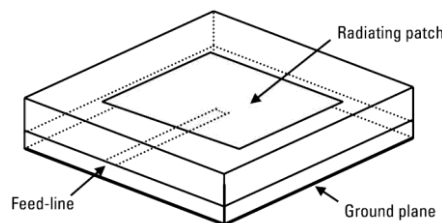


Gambar 2.5 Teknik Pencatutan *direct coupling* [2]

Sedangkan saluran pencatutan secara tidak langsung adalah pencatutan yang antara saluran transmisi dan elemen peradiasinya tidak terhubung secara langsung (tidak adanya kontak langsung). Teknik ini dibagi menjadi 2, yaitu: [2]

2.2.3.1 Teknik pencatutan *proximity coupling*

Teknik *Proximity coupling* adalah teknik pencatutan yang memberikan sedikit celah antara ujung saluran dengan antenna. Rancangan dari Teknik pencatutan ini dapat dilihat pada Gambar 2.5. Kapasitansi dari celah yang dibentuk antara ujung saluran dan antenna menimbulkan adanya mekanisme penggandengan ke antenna. Untuk meningkatkan mekanisme penggandengan yang sangat kuat maka saluran pencatu diletakan pada posisi lebih rendah dari *patch* atau berada persis dibawah *patch*.

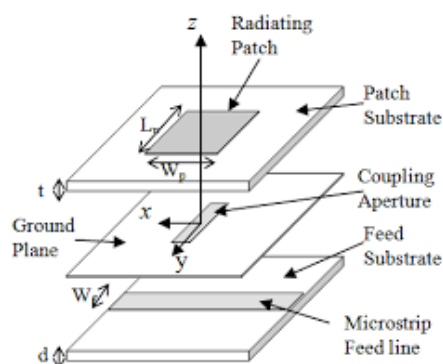


Gambar 2.6 Teknik Pencatutan *Proximity Coupling* [2]

Teknik ini menggunakan dua *substrate* yang mana pada substrat bagian atas terdapat *patch* tanpa adanya *Ground plane*. Sedangkan saluran mikrostrip berada pada *substrate* bawah disertai dengan *Ground plane*. Mekanisme penggandengan pada teknik pencatu *proximity coupling* menggunakan komponen kapasitor sebagai komponen paling dominan. Keuntungan dari penggunaan teknik ini yaitu *bandwidth* yang dihasilkan cukup luas dan *gain* yang dihasilkan lebih besar. Namun pada teknik ini masih memiliki penguatan yang rendah.

2.2.3.2 Teknik pencatuan *aperture coupling*

Pada teknik pencatuan *aperture coupling* pemasangan antenna mikrostrip dan saluran transmisi dapat terpasang secara terpisah dengan menggunakan bahan *substrate* yang berbeda. Struktur dari antenna mikrostrip dengan teknik ini dapat terdiri dari dua atau lebih *substrate* dielektrik yang menggunakan bahan yang berbeda. *Patch* antenna berada pada permukaan atas dari *substrate* dielektrik atas sedangkan saluran transmisi berada pada permukaan *substrate* bagian bawah. Pada teknik ini *patch* dan saluran transmisi akan dipisahkan dengan *Ground plane* dan di gabungkan dengan celah pada *Ground plane* yang nantinya akan disisipkan diantara keduanya. Teknik pencatuan ini dapat dilihat pada Gambar 2.6. Keuntungan menggunakan teknik *aperture coupling* adalah *bandwidth* yang dihasilkan lebih besar dan mempunyai tingkat isolasi antara antenna dan saluran transmisi yang lebih baik. Celah pada antenna mikrostrip yang menggunakan teknik *aperture coupling*, *slot* berbentuk segiempat, impedansi *matching* pada antenna mikrostrip dapat disesuaikan dengan mengatur impedansi karakteristik dari saluran pencatu dan pengaturan posisi dan dimensi pada celah antenna mikrostrip. [2]



Gambar 2.7 Teknik Pencatuan *Aperture Coupling*

Perancangan pencatu menggunakan teknik ini perlu memperhatikan ukuran dari *slot* antenna mikrostrip dan panjang dari *stub*. *Stub* adalah saluran transmisi sirkit terbuka yang

memiliki impedansi karakteristik sama dengan saluran transmisi. Pencatutan teknik ini akan menghubungkan antenna mikrostrip dengan saluran transmisi secara seri. Ukuran *slot* sangat kecil sehingga memerlukan adanya penambahan nilai reaktansi dari impedansi antenna. Sama dengan nilai dari *stub* setelah melewati *slot* memerlukan adanya penambahan nilai reaktansi. Panjang dari *stub* mempengaruhi titik impedansi sedangkan untu panjang *slot* mempengaruhi nilai dari pengkopelan antenna. Panjang dari *stub* disarankan antara $0,22\lambda_f - 0,25\lambda_f$ dengan λ_f adalah nilai dari panjang gelombang saluran transmisi. Untuk menghindari sangat besarnya nilai dari radiasi karena besarnya dimensi dari *slot* maka disarankan tebal dari *substrate* antara $0,01\lambda_0 - 0,03\lambda_0$. Nilai kelistrikan dari bahan *substrate* mempengaruhi panjang dari *slot*. Semakin tinggi nilai kelistrikan pada bidang *substrate* maka semakin kecil nilai dari panjang *slot*. Lebar dari *slot* disarankan sekitar sepersepuluh dari panjang *slot* tersebut untuk mendapatkan nilai kopling yang baik. [1]

2.2.5 Parameter Antena

Suatu antenna dapat dikatakan memiliki kinerja yang baik dengan melihat nilai dari parameter-parameter yang terdapat pada antenna. Nilai dari parameter ini dijadikan acuan untuk menentukan kesesuaian antenna untuk kebutuhannya. Parameter-parameter antenna tersebut yaitu:

2.2.5.1 Frekuensi Resonansi

Frekuensi Resonansi atau biasa disebut sebagai frekuensi kerja adalah frekuensi yang menentukan pada rentang frekuensi mana antenna akan bekerja. Frekuensi kerja pada antenna dapat dilihat dari grafik *return loss* dan grafik *voltage standing wave ratio* (VSWR).

2.2.5.2 Return Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo gelombang refleksi terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* menentukan berapa banyaknya daya yang hilang pada beban dan tidak kembali dipantulkan. *Return loss* dapat terjadi karena tidak adanya kontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan pada antenna, sehingga semua daya yang terpancar tidak dapat diradiasikan. Dengan demikian semakin sedikit daya yang hilang maka performa dari antenna tersebut juga semakin baik. Suatu antenna dikatakan memiliki nilai *return loss* yang baik ketika nilai nya dibawah atau sama dengan -9,54 dB.

Koefisien refleksi adalah perbandingan gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang diterima. Nilai dari koefisien refleksi (Γ) tegangan bernilai kompleks. Terdapat beberapa keadaan dari koefisien refleksi, sebagai berikut:

$\Gamma = -1$: Terjadi jika saluran terhubung singkat

$\Gamma = 0$: Terjadi jika saluran dalam keadaan *matched* sempurna

$\Gamma = +1$: Terjadi jika saluran dalam rangkaian terbuka

Koefisien tegangan ini dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad 2.25$$

Sedangkan nilai dari *return loss* dapat dicari dengan persamaan berikut:[14]

$$\text{Return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad 2.26$$

Keterangan:

- Γ : Koefisien refleksi tegangan (Volt)
- V_0^- : Tegangan yang dipantulkan (Volt)
- V_0^+ : Tegangan yang diterima (Volt)
- Z_L : Impedansi beban atau (*load*) (Ohm)
- Z_0 : Impedansi saluran (*lossless*) (Ohm)

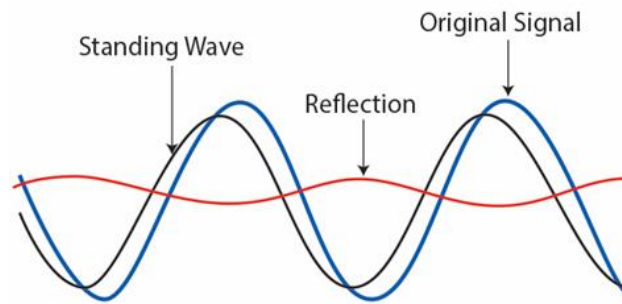
2.2.5.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan perbandingan dari amplitudo gelombang berdiri maksimum dengan gelombang berdiri minimum. Gelombang berdiri atau *standing wave* adalah gelombang datang yang terinterferensi dengan gelombang pantul. Interferensi ini mengakibatkan kerusakan gelombang datang. [2] Dapat diartikan bahwa semakin kecil nilai dari *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), maka semakin baik performa dari antenna. Gambar 2.8 menunjukkan posisi gelombang saat bekerja. Nilai standar untuk *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) bernilai lebih kecil sama dengan 2. Persamaan untuk mencari nilai dari *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) adalah:

$$S = \frac{|\tilde{V}|_{max}}{|\tilde{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad 2.27$$

Keterangan:

- $|\tilde{V}|_{max}$: Amplitudo *standing wave* maksimum
- $|\tilde{V}|_{min}$: Amplitudo *standing wave* minimum
- S : *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)



Gambar 2. 8 gelombang *reflection* pada antenna [10]

2.2.5.4 Impedansi Masukan

Impedansi masukan merupakan perbandingan antara tegangan dengan arus pada suatu antenna. Impedansi masukan pada antenna harus mendekati nilai dari impedansi gelombang pada saluran transmisi agar tidak terjadinya refleksi. Impedansi masukan digunakan untuk mencapai kondisi *matching* pada saat dihubungkan dengan sumber tegangan. Impedansi masukan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Z_{in} = (R_{in} + j \times_{in})\Omega \quad 2.28$$

Komponen R_{in} menunjukkan banyaknya daya yang hilang akibat panas atau radiasi. Sedangkan komponen \times_{in} menunjukkan reaktansi dan daya yang tersimpan di medan dekat antenna. [2]

Persamaan untuk menghitung besar dari refleksi, adalah:

$$r = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad 2.29$$

Secara logaritma bisa dihitung sebagai berikut:

$$r_{db} = 20 \log|r| \quad 2.30$$

Antena dikatakan memiliki refleksi yang bagus ketika faktor dari refleksinya $r_{db} \leq -10\text{dB}$ atau $|r| \leq 0,316$ (10% energi direfleksikan kembali ke pemancar) dan $VSWR < 1,92$. [1]

2.2.5.5 Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita frekuensi adalah sebuah rentang frekuensi kerja dari sebuah antenna. Gambar letak *bandwidth* pada gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.9. *Bandwidth* suatu antenna ditulis dalam presentasi karena nilainya bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi. Persamaan untuk mencari nilai dari *bandwidth* sebagai berikut:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad 2.31$$

Keterangan:

BW : *Bandwidth* (Mbps)

f_2 : Frekuensi atas (Hz)

f_1 : Frekuensi bawah (Hz)

f_c : Frekuensi tengah (Hz)

Persamaan mencari nilai *bandwidth* pada antenna mikrostrip, sebagai berikut:

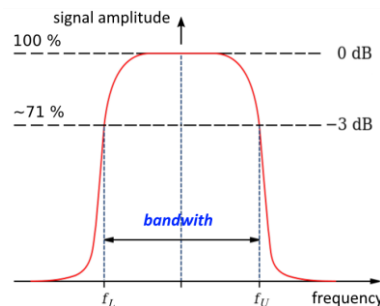
$$BW = \frac{S - 1}{Q_0 \sqrt{S}} \quad 2.32$$

Keterangan:

S : VSWR (dB)

Q_0 : Faktor kualitas

Pada antenna mikrostrip, terdapat 3 jenis *bandwidth*, yaitu: *impedance bandwidth*, *pattern bandwidth*, dan *polarization* atau *axial ratio bandwidth*. [2]



Gambar 2.9 *Bandwidth* atau lebar pita frekuensi [11]

2.2.5.6 Gain

Gain berkaitan dengan kemampuan antenna untuk mengarahkan radiasinya. Besar kecilnya *gain* dipengaruhi oleh keterarahan atau *directivity* dari antenna. Nilai dari besaran *gain* suatu antenna berbanding seajar dengan keterarahan atau *directivity* suatu antenna. Semakin tinggi nilai dari *directivity* maka *gain* yang dihasilkan semakin besar. Antenna dengan *gain* rendah memiliki pola radiasi yang melebar, sedangkan pada *gain* yang bernilai tinggi pola radiasi yang dihasilkan sempit tetapi bisa menjangkau tempat yang lebih jauh. Selain dipengaruhi oleh *directivity* besar kecilnya antenna juga dipengaruhi oleh dimensi dari antenna tersebut.

Gain bukanlah nilai kuantitas melainkan sebuah perbandingan. Satuan dari *gain* adalah desibel. Terdapat 2 parameter dari *gain* yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. [12]

Persamaan untuk menghitung *absolute gain*, adalah:

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad 2.33$$

Persamaan untuk menghitung *relative gain*, adalah:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad 2.34$$

Keterangan:

$U(\theta, \phi)$: Intensitas radiasi pada arah tertentu

P_{in} : Intensitas radiasi yang diterima

$P_{in}(lossless)$: Sumber isotropik yang *lossless*

2.2.5.7 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan (*Directivity*) merupakan nilai perbandingan dari intensitas radiasi antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata semua arah. *Directivity* suatu antenna di pengaruhi oleh intensitas radiasi dan daya total radiasi dari antenna mikrostrip. Nilai permitivitas pada suatu antenna mikrostrip mempengaruhi besar kecilnya dimensi dari antenna dan mengakibatkan perubahan pada nilai dari *directivity* suatu antenna mikrostrip.

Keterarahan dari suatu antenna dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad 2.35$$

Persamaan keterarahan ketika arah dari pancaran antenna tidak ditentukan, adalah:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad 2.36$$

Keterangan:

D : Keterarahan (*Directivity*) dBi

U : Intensitas radiasi

U_0 : Intensitas radiasi pada sumber isotropik

U_{max} : Intensitas radiasi maksimum

D_0 : Keterarahan maksimum dBi

P_{rad} : Daya total radiasi Watt

Persamaan keterarahan ketika arah dari pancaran antenna ditentukan, adalah: [2]

$$D_{susun} = \left[\frac{1}{N} + \frac{2}{N} \sum_{m=1}^{N-1} \frac{N-m}{m\beta d} \sin m\beta d \cos ma \right]^{-1} \quad 2.37$$

$$= \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}}{\lambda_0} \quad 2.38$$

Keterangan:

N : Jumlah elemen

d : Jarak antar antenna Cm

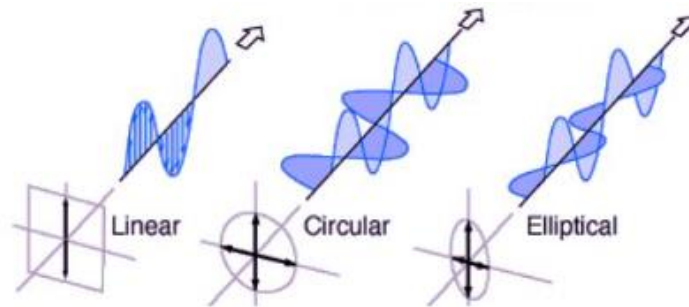
a : Beda fasa eksitas Derajat

2.2.5.8 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah suatu gambaran yang menunjukkan representasi grafik sifat radiasi pada antenna sebagai fungsi ruang. Sifat dari radiasi meliputi kerapatan *flux*, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi. Hal yang paling penting dari sifat radiasi adalah persebaran energi radiasi dari antenna secara tiga dimensi atau dua dimensi. [2] Pola radiasi dibagi menjadi 2 yaitu : pola radiasi terarah atau *directional* dan pola radiasi tidak terarah atau *omnidirectional*. [14]

2.2.5.9 Polarisasi

Polarisasi adalah gelombang radiasi yang dipancarkan atau diterima dari antenna pada suatu arah tertentu. Polarisasi antenna menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang berbeda terhadap waktu.



Gambar 2.10 Jenis Polarisasi [13]

Antena mikrostrip memiliki klasifikasi sebagai berikut, yaitu: polarisasi *linier*, polarisasi *circular* (melingkar), dan polarisasi *elliptical*. Dapat dilihat pada Gambar 2.10. Polarisasi *linier* terjadi ketika suatu gelombang yang berubah menurut waktu dan memiliki vektor medan elektrik selalu berorientasi pada garis yang sama setiap saat. Polarisasi melingkar terjadi ketika suatu gelombang yang berubah menurut waktu dan memiliki vektor medan elektrik berada pada jalur melingkar sebagai fungsi waktu. Sedangkan polarisasi *elliptical* terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu dan memiliki vektor medan elektrik berada pada jalur *elips* pada ruang.

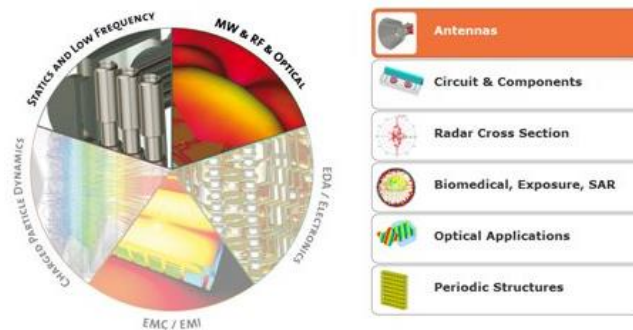
2.2.6 Microsoft Excel 2016

Microsoft Excel adalah aplikasi pengolahan data secara otomatis dengan penggunaan rumus-rumus atau formula dalam lembar kerja. Microsoft Excel dapat digunakan untuk keperluan rumus, perhitungan dasar, pengolahan data, pembuatan table, pembuatan grafik

hingga manajemen data. Microsoft Excel memiliki kemampuan menampung data yang cukup besar yaitu 1 juta baris dan 16000 kolom dalam satu lembar kerja.[17]

2.2.7 CST STUDIO SUITE 2019

CST adalah suatu *software* simulasi medan elektromagnetik yang menerapkan persamaan Maxwell sebagai acuan. *Software* ini dapat digunakan untuk merancang, menganalisa, dan mengoptimalkan komponen dan sistem elektromagnetik secara 3D. CST dapat membuat bermacam macam jenis antena sesuai dengan kebutuhan. Menu-menu dari *software* CST dapat dilihat pada Gambar 2.11. Dengan menggunakan *software* ini proses perancangan antena dapat dilaksanakan dengan lebih mudah dan efisien.[18]



Gambar 2.11 Menu pada *Software* CST STUDIO SUITE [18]

