

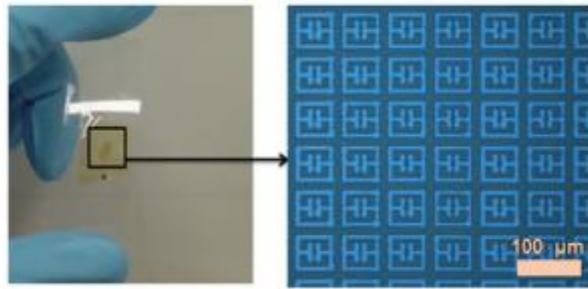
BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Metamaterial

Metamaterial merupakan material yang tidak seperti material alami biasa. Metamaterial dapat memiliki sifat yang istimewa yaitu permitivitas dan permeabilitas elektrik yang negatif. Merekayasa desain 2D atau 3D metamaterial merupakan salah satu metode dalam menghasilkan sifat yang istimewa [21]. Dengan memainkan permitivitas dan permeabilitas metamaterial sudah banyak berkembang penelitian mengenai ini. Diantara pemanfaatan dari metamaterial ini adalah sebagai berikut :

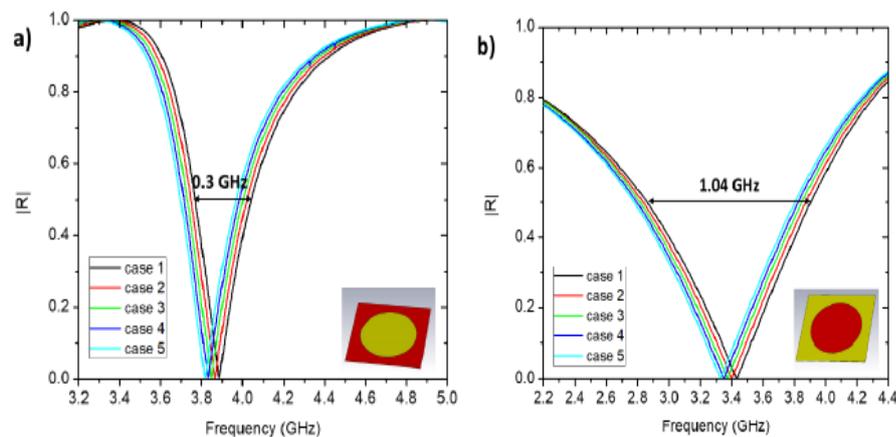
- a. *Negatif refractive index*
- b. *High absorber*
- c. *Energy harvesting*
- d. *Invisible cloak*
- e. *Sensor*

Metamaterial Biosensor dalam pengaplikasiannya menggunakan material yang tersusun material konduktor dan isolator yang kemudian gabungan. Hasil dari penggabungan ini akan menghasilkan material dengan permitivitas dan permeabilitas yang berbeda. Sampel yang dideteksi menggunakan gelombang frekuensi dapat berupa benda padat dan cair. Dimana sampel yang digunakan bisa langsung ditempatkan pada permukaan metamaterial. Adapun untuk gambar penempatan sampel yang dideteksi dengan metamaterial dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Metamaterial Biosensor [19]

Hasil simulasi dan fabrikasi yaitu berupa gelombang resonansi. Lebar gelombang resonansi yang dihasilkan merupakan besaran FWHM dari refleksi dan transmisi. Nilai FWHM yang dihasilkan dari gelombang resonansi digunakan untuk menentukan tingkat sensitifitas metamaterial. Parameter yang diperhatikan dari hasil *S-parameter* adalah lokasi frekuensi resonansi, besar transmisi atau refleksi pada lokasi frekuensi resonansi serta *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Dengan melihat parameter tersebut maka akan dilihat resolusi kemampuan deteksi dari *microwave* metamaterial yang dirancang. Besaran FWHM Refleksi dengan bahan dielektrik kertas dan bahan konduktornya *silver* dapat dilihat pada gambar 2.2.

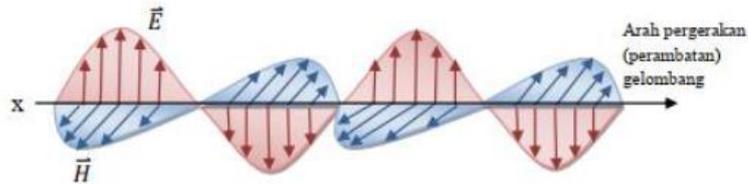


Gambar 2.2. FWHM a. selinder logam terbalik, b. selinder [22]

2.2 Gelombang Elektromagnetik

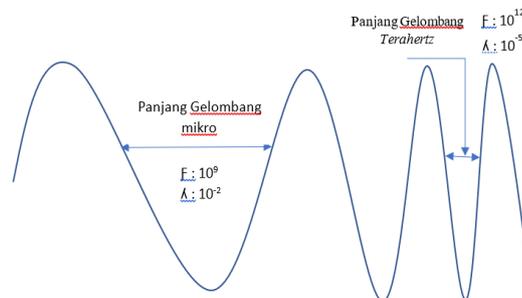
Gelombang elektromagnetik merupakan salah satu jenis gelombang yang perambatannya berupa energi. Dimana energinya berupa medan listrik dan medan

magnet yang berubah terhadap waktu. Energi yang merambat pada gelombang saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambatannya. Perubahan medan magnet terhadap waktu menimbulkan medan listrik [23]. Sehingga penjelasan tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.3. Medan Listrik dan Medan Magnet saling tegak lurus dan menyebabkan arah rambatan pada gelombang elektromagnetik [24]

Energi pada gelombang elektromagnetik akan merambat dengan beberapa karakteristik seperti panjang gelombang atau *wavelength*, periode, frekuensi, dan cepat rambat [24]. Gelombang elektromagnetik memiliki rentang frekuensi pada gambar 2.4. Gelombang *microwave* memiliki frekuensi satuan GHz yaitu 10^9 . Panjang gelombang *microwave* memiliki lebar yang lebih besar jika dibandingkan dengan panjang gelombang frekuensi *terahertz*.



Gambar 2.4. Rentang Frekuensi

2.3 Transmisi dan Refleksi

Transmisi merupakan suatu gelombang yang diteruskan dari medium satu ke-medium 2. Sedangkan refleksi adalah pemantulan gelombang yang mana dipantulkan dari medium 2 ke-medium 1. Transmisi dan refleksi memiliki hubungan dengan impedens dan indeks bias [25]:

$$S_{11} = \frac{R_1 (1 - e^{i2nK_0l})}{1 - (R_1)^2 e^{i2nK_0l}} \dots\dots\dots(1)$$

$$S_{12} = \frac{(1 - (R_1)^2) e^{i2nK_0l}}{1 - (R_1)^2 e^{i2nK_0l}} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_1 = \frac{Z-1}{Z+2} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

S_{11} = Refleksi

S_{12} = Transmisi

K_0 = Bilangan Gelombang Ruang Bebas

l = Ketebalan sampel

n = Indeks bias

Z = Impedansi

2.4 Impedansi dan indeks bias

Impedansi merupakan suatu respon yang diperoleh dari suatu rangkaian berupa tahanan total akibat pemberian sumber tegangan listrik sinusoida [26]. Besaran Impedansi ditulis dalam bilangan kompleks, sehingga akan diperoleh dua parameter yaitu bagian *imaginer* (i) dan bagian *real* (R). Impedansi dapat diperoleh dengan membalikan persamaan 1 dan persamaan 2 sebagai [25]:

$$Z = \pm \sqrt{\frac{(1+S_{11})^2 - S_{12}^2}{(1-S_{11})^2 - S_{12}^2}} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan indeks bias merupakan perbandingan rasio antara kelajuan cahaya diruang hampa terhadap kelajuan cahaya didalam bahan. Ketika suatu gelombang cahaya melewati bahan, kelajuanya akan turun sebesar suatu faktor yang ditentukan oleh karakteristik bahan [27]. Indeks bias dapat diperoleh dengan membalikan persamaan 1 dan 2 manjadi [25]:

$$e^{i2nK_0l} = X \pm \sqrt{1 - X^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$X = \left(\frac{1}{2S_{12}}\right) (1 - S_{11}^2 + S_{12}^2) \dots\dots\dots(6)$$

$$FoM = \frac{n_r}{n_i} \dots\dots\dots(7)$$

Indeks bias yang dihasilkan dari perhitungan akan digunakan untuk menentukan *figure of merit* (FoM). FoM menggambarkan perambatan gelombang elektromagnetik melalui metamaterial. Jika dihasilkan FoM tinggi maka gelombang elektromagnetik dapat merambat melalui metamaterial. Sedangkan FoM rendah menggambarkan bahwa gelombang elektromagnetik dilemahkan saat menyebarkan materi [22].

2.5 Permittivitas dan Permeabilitas

Permittivitas adalah suatu rapat *fluks* listrik dalam suatu material dan permeabilitas merupakan sifat bahan terhadap medan magnet [28]. Permeabilitas dan permittivitas dalam suatu metamaterial dapat dihitung menggunakan persamaan yang diperoleh dari persamaan 5 dan persamaan 4 [25]:

$$\epsilon = \frac{n}{z} \dots\dots\dots(8)$$

$$\mu = nz \dots\dots\dots(9)$$

2.6 Konduktor dan Dielektrik

Pemilihan propertis material sangat penting dalam pembuatan metamaterial, pada bagian ini akan dijelaskan mengenai bahan konduktor dan dielektrik yang nantinya akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini:

2.6.1. Konduktor

Suatu bahan yang dapat menghantarkan listrik sangat baik. Didalam bahan konduktor terdiri elektron-elektron bebas dalam jumlah amat besar, dengan banyaknya jumlah elektron yang terkandung pada bahan konduktor ini memungkinkan terjadinya pergerakan muatan. Pergerakan muatan pada bahan konduktor akan menghasilkan medan magnet pada sisi terluar bahan konduktor. Pada setiap bahan konduktor memiliki propertis bahan yaitu berupa

konduktivitas, dan masa jenis, tingkat konduktivitas menentukan seberapa bagus bahan konduktor dapat meneruskan elektron-elektron.

Bahan konduktor *silver* memiliki konduktivitas 6.3×10^7 S/m. Pengaruh konduktivitas terhadap metamaterial tergantung pada kapasitas yang yang dihasilkan dari gap pada bahan konduktor. Kapasitas terjadi karena terdapatnya pergerakan elektron pada bahan konduktor.

2.6.2. Dielektrik

Bahan dielektrik yaitu bahan yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi listrik. Penyimpanan terjadi karena pergeseran *relating* muatan *posited internal* dan muatan *negatif internal* terhadap gaya atomik *melekuler* normal.

Bahan dielektrik yang digunakan dalam pembuatan metamaterial pada penelitian sebelumnya yaitu menggunakan *silicon*, FR-4, PVC, dan Kertas. Tingkat harga dari keempat jenis dielektrik yang digunakan pada penelitian sebelumnya kertas merupakan bahan yang mudah didapat dan harganya murah. Permittivitas relatif dari kertas kosong yaitu 2,31.

2.6.3. Persamaan Maxwell

Persamaan awal dalam menyelesaikan studi numerik metamaterial adalah persamaan maxwell. Persamaan ditulis dalam bentuk interaksi suatu gelombang elektromagnetik dan materi dideskripsikan oleh *vector* medan listrik dan medan magnet. Propagasi *vector* medan ditentukan menggunakan persamaan maxwell.

$$\nabla \times H = J + i\omega D \dots\dots\dots(9)$$

$$\nabla \times E = -i\omega \dots\dots\dots(10)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \dots\dots\dots(11)$$

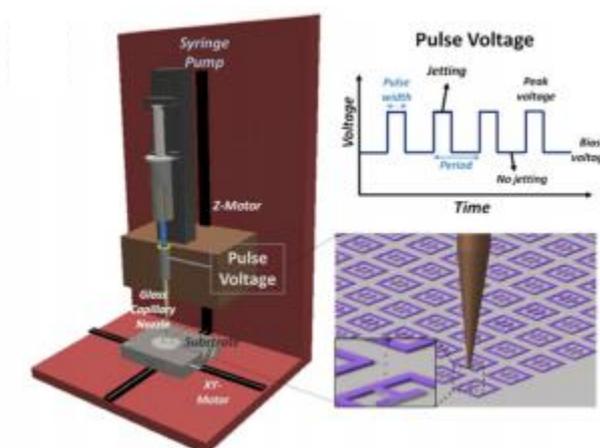
$$\nabla \cdot B = 0 \dots\dots\dots(12)$$

Dimana H , J , ω , E , D , B , ρ adalah medan magnet, kerapatan arus listrik, frekuensi sudut, kerapatan fluks medan listrik, kerapatan fluks medan magnet, dan kerapatan muatan.

Persamaan maxwell yang terdiri dari 4 persamaan diaplikasikan dalam penelitian ini yaitu pemanfaatan dari arah medan listrik dan medan magnet. Persamaan maxwell digunakan langsung pada aplikasi *CST Studio Suite*. Dengan menggunakan *Finite Intergration Technique* (FIT) yaitu metode perhitungan dalam simulasi.

2.7 Drawing by Hand

Fabrikasi metamaterial *microwave* dengan menggunakan metode *drawing by hand* yaitu proses penempatan tinta hanya dengan menggunakan tangan. Prinsip fabrikasi menggunakan *drawing by hand* hampir sama dengan *electrohydrodynamic jet printing* yaitu menggunakan tinta sebagai bahan utamanya tetapi dalam *electrohydrodynamic jet printing* terdapat alat bantu untuk meletakkan tinta berupa *nozzle*. *Electrohydrodynamic jet printing* termasuk suatu proses *microfabrikasi* untuk pembuatan metamaterial gelombang *terahertz*. Gambar 2.5 merupakan fabrikasi *electrohydrodynamic jet printing*.



Gambar 2.5. Fabrikasi *electrohydrodynamic jet printing* [19]

Fabrikasi *electrohydrodynamic jet printing* menggunakan medan listrik untuk mengeluarkan tinta pada ujung *nozzle*. Sedangkan metode *drawing by hand* hanya memerlukan kuas sebagai alat bantu untuk meletakkan tinta ke bahan dielektrik.

2.8 Waveguide

Waveguide merupakan suatu rongga dalam material yang dibuat menjadi ruangan tertutup dengan bahan material yang digunakan merupakan material konduktor. Pada ujung setiap ruangan terdapat antena yang berfungsi mengalirkan gelombang untuk melewati metamaterial yang selanjutnya pada ujung ruang terdapat antena yang akan menangkap gelombang yang telah melewati metamaterial. Gelombang yang menjalar pada *waveguide* merupakan gelombang mode TE dan mode TM. Mode TM adalah seluruh medan magnet yang menjalar secara transversal terhadap arahnya. Mode TE adalah seluruh medan listrik transversal pada arah propagasi [29].

2.9 Minyak Nabati

Pembuatan minyak nabati yang ada saat ini ada berbagai jenis yaitu minyak sereh, minyak pala, minyak jarak, minyak cengkeh, minyak kayu putih. Dari hasil penelitian campuran minyak nabati minyak sereh mengandung asam lemak yang terdiri asam resinoleat 87%, asam palmitat 2%, asam stearate 1%, asam oleat 7% dan asam linoleate 3% [20]. Cairan yang bersifat asam dapat menghantarkan listrik dengan baik sehingga akan mempengaruhi sifat dari konduktivitas dielektrik metamaterial. Pengaruh yang diberikan terhadap medan listrik oleh sampel campuran minyak nabati memberikan nilai positif sehingga akan mempengaruhi dari transmisi dan refleksi dan metamaterial yang akan digunakan. Campuran minyak nabati yang digunakan pada penelitian ini merupakan campuran antara minyak sereh dengan minyak cengkeh dengan ukuran 1:1 atau 50% minyak sereh dan 50% minyak cengkeh. Campuran minyak nabati hasil di campur kembali dengan bahan bakar bensin, komposisi campuran divariasikan dengan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan sebagai campuran minyak nabati yaitu premium karena memiliki harga yang relatif murah dan paling umum digunakan.