

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Bab tinjauan pustaka ini berisi landasan teori yang akan digunakan dalam penelitian. Landasan teori ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang konsep dan prinsip yang digunakan dalam desain dan optimasi antena, serta proses deteksi tumor payudara berbasis gelombang mikro. Beberapa konsep utama yang dibahas meliputi

2.1.1 Antena

Antena merupakan sebuah perangkat yang dapat memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik secara efisien. Jika sumber yang dihubungkan dengan saluran transmisi yang tak hingga panjangnya, maka akan menghasilkan gelombang yang merambat sepanjang saluran tersebut. Selain itu, antena terbagi menjadi berbagai jenis, seperti Antena Kabel (*Wire Antenna*), Antena Celah (*Aperture Antenna*), Antena Pantul (*Reflector Antenna*), Antena Lensa, Antena Mikrostrip, dan Antena Susun (Harry Ramza, 2020).

2.1.2 Antena Mikrostrip

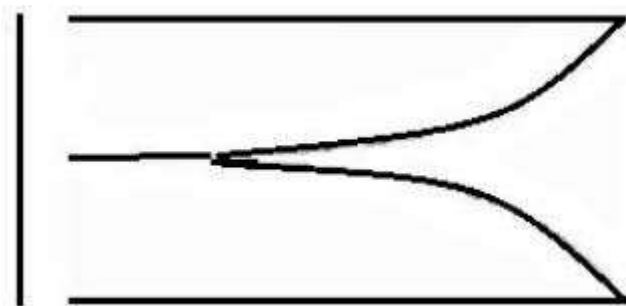
Antena mikrostrip adalah jenis antena yang terbuat dari bahan logam tipis yang ditempelkan di atas lapisan logam dasar (*ground plane*), dengan bahan dielektrik sebagai pemisah di antaranya. Antena ini dapat dibuat menggunakan teknologi sirkuit tercetak, sehingga bentuknya menjadi ringan, tipis, dan mudah diproduksi. Karena kepraktisannya, antena mikrostrip sering digunakan pada perangkat komunikasi bergerak seperti ponsel, GPS, dan sistem nirkabel lainnya. Secara umum, antena mikrostrip mempunyai keunggulan berupa dimensi antena yang kecil, bentuknya yang sederhana sehingga mempermudah proses perakitan, biaya produksi yang terjangkau, serta dapat digunakan dalam berbagai frekuensi. Namun antena mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti efisiensi, daya (*power*)

dan *gain* yang rendah, serta *bandwidth* yang sempit (Christyono et al., 2016).

Berbagai antenna mikrostrip seperti antenna *circular*, *rectangular*, *pentagonal*, vivaldi, serta antipodal vivaldi juga dapat digunakan untuk deteksi tumor payudara menggunakan gelombang mikro (Kumar V. & Vidyasree, 2018). Akan tetapi antenna vivaldi memiliki keunggulan yang berbeda dibandingkan antenna mikrostrip lainnya, yakni memiliki *bandwidth* yang lebar (*wideband*), *gain* yang tinggi, serta biaya fabrikasi yang relatif murah memungkinkan penggunaan dalam berbagai aplikasi seperti pada deteksi tumor payudara (Sumpena et al., 2020).

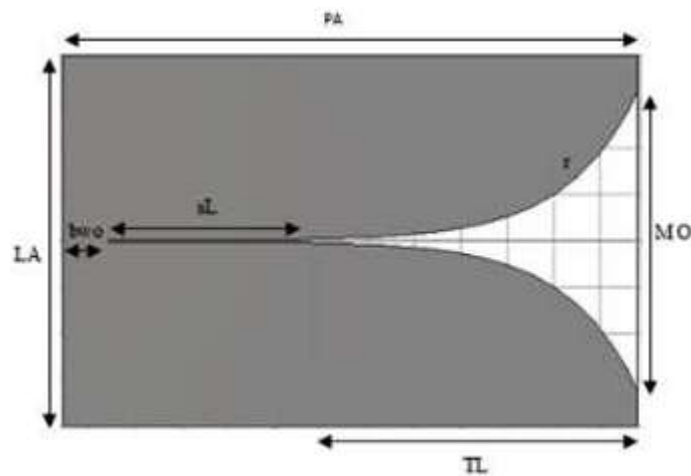
2.1.3 Antena Vivaldi

Antena Vivaldi merupakan antenna yang berbasis mikrostrip. Antena vivaldi juga salah satu jenis antenna yang biasanya digunakan pada teknologi radar (Saputra M.A. et al., 2018). Antena vivaldi merupakan jenis antenna mikrostrip yang berbeda dari antenna mikrostrip lainnya. Antena vivaldi memiliki beberapa keunggulan yaitu mempunyai *bandwidth* yang lebar, pola radiasi *directional*, dan *gain* yang tinggi. Bahkan antenna vivaldi dapat beroperasi dengan rentang frekuensi yang sangat luas atau tak terbatas (Sofarudin S. et al., 2020). Antena vivaldi merupakan jenis *Exponential TSA (Tapered Slot Antenna)*, yang secara teoritis menawarkan *bandwidth* yang tak terbatas (Hakim et al., 2023). Desain tradisional vivaldi pertama diperkenalkan oleh Gibson pada tahun 1979 (Pramono et al., 2018). Dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Desain Tradisional Antena Vivaldi yang Diperkenalkan oleh Gibson

Sumber : (Maruddani et al., 2019)



Gambar 2.2 Desain Antena Vivaldi

Sumber : (Maruddani et al., 2019)

Keterangan:

PA : Panjang Antena

LA : Lebar Antena

Bwo : *Backwall Offset*

TL : *Tapered Length*

MO : *Mouth Opening*

r : *Tapered Rate*

sL : *Slotline Length*

Perancangan *Taper Slot* meliputi dari perancangan nilai *Tapered Rate* dan juga panjang runcingnya. Dengan menggabungkan dari hasil penjumlahan panjang *Slot Line*, *Tapered Length*, *Backwall Offset* maka akan menghasilkan total panjang rancangan antena vivaldi. Pembuatan bidang lancip antena vivaldi berdasarkan dari fungsi eksponensial, dengan rumus: (Balanis C.A, 2016)

$$y = \pm A \times \exp^{(p.x)} \quad (2.1)$$

Dimana :

y dan *x* = Setengah dari pemisah slot

A = Titik terendah dari bidang lancip

p = Titik yang meruncing

Maka dari dua fungsi eksponensial yang digabungkan akan membentuk *Tapered Slot*. Pada kemiringan *Taper Slot* antenna vivaldi dapat mempengaruhi *gain*, pola radiasi, *beamwidth*, serta *bandwidth* dari *Tapered Slot Antenna* (TSA) (Ukaegbu & Gamage, 2017).

Tahapan dalam merancang antenna vivaldi didasarkan pada perhitungan sejumlah parameter dimensi antenna. Beberapa parameter yang perlu dihitung meliputi Lebar dan Panjang Antena, *Tapered Rate*, *Tapered Length*, Lebar *Slotline*, Panjang *Slotline*, Panjang *Stub*, serta panjang saluran mikrostip.

Panjang antenna sebaiknya sama dengan atau lebih besar dari panjang gelombang pada frekuensi kerja terendah, sementara lebar antenna dapat mencapai setidaknya setengah dari panjang gelombang pada frekuensi terendah (Mandalika et al., 2022). Untuk mencari Panjang Antena (PA) serta Lebar Antena (LA) dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$PA \approx \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

$$LA \approx \frac{1}{2} \times \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya, f_1 adalah frekuensi kerja terendah, dan ϵ_r adalah permitivitas relatif.

Dalam mencari *Tapered Length* (TL) pada antenna, bahwasannya nilai *Tapered Length* (TL) bernilai setengah panjang gelombang mampu meningkatkan efisiensi antenna sama halnya dengan mencari Lebar Antena (LA). Dengan persamaan sebagai berikut: (Shan et al., 2017)

$$TL \approx \frac{1}{2} \times \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

Pada *Tapered Rate* (r) didapat dari persamaan eksponensial. Nilai *Tapered Rate* (r) dapat mempengaruhi *Mouth Opening* dari antenna vivaldi.

Bahwasannya jika nilai *Tapered Rate* (r) semakin besar, maka akan semakin terbuka juga bidang lancipnya. Agar radiasi antena lebih efisien, disarankan menggunakan nilai *Mouth Opening* setengah panjang gelombang (Maruddani et al., 2019). Formula untuk menghitung *Tapered Rate* (r) dan *Mouth Opening* (MO) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\pm \frac{MO}{2} = \pm \frac{s}{2} \times \exp^{(r \times TL)} \quad (2.5)$$

$$MO \approx \frac{1}{2} \times \frac{c}{f_1 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

Dimana MO adalah nilai *Mouth Opening*, s adalah nilai lebar *slotline*, r adalah nilai *Tapered Rate*, dan TL adalah nilai *Tapered Length*.

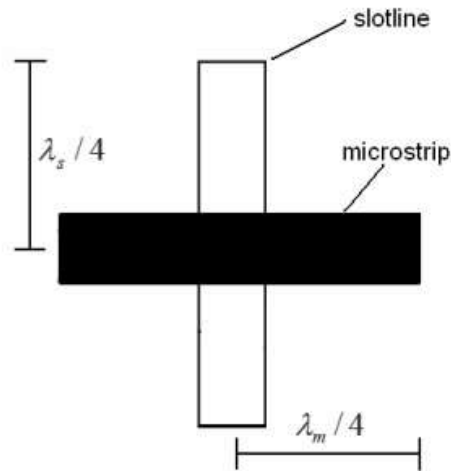
Panjang *slotline* pada antena vivaldi dihitung dari selisih antara panjang antena, *Backwall offset* (Bwo), dan panjang *taper slot*. Panjang *slotline* ini sudah mencakup panjang *stub* yang nilainya sebesar seperempat panjang gelombang dari titik pertemuan *slotline* dan mikrostrip. Rumus untuk menghitung panjang *slotline* (sL) dan lebar *slotline* (s) pada antena vivaldi adalah sebagai berikut:

$$sL = PA - Bwo - TL \quad (2.7)$$

$$s \approx \frac{c}{f_2 \sqrt{\epsilon_r}} \times 2\% \quad (2.8)$$

Dimana c merupakan kecepatan cahaya, f_2 merupakan frekuensi kerja tertinggi, dan ϵ_r adalah permitivitas relatif.

Stub terdiri dari panjang *stub slotline* dan panjang *stub stripline* atau mikrostrip. *Stub* merupakan panjang material yang besarnya seperempat panjang gelombang (Yin et al., 2016).



Gambar 2.3 Panjang *Stub Slotline* dan Panjang *Stub* Mikrostrip

Sumber : (Erdogan, 2009)

Pada gambar 2.3 menunjukkan panjang *stub slotline* (λ_s) dan panjang *stub* mikrostrip (λ_m). Bahwasannya panjang *stub* dari *slotline* (λ_s) dan *microstrip* (λ_m) nilainya adalah sebesar seperempat panjang gelombang (Mandalika et al., 2022). Untuk menghitung panjang *stub* ($stubL$) ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$stubL = \frac{1}{4} \times \frac{c}{f_c \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

Dimana c merupakan kecepatan cahaya, dan f_c merupakan frekuensi tengah atau senter dari frekuensi kerja antenna.

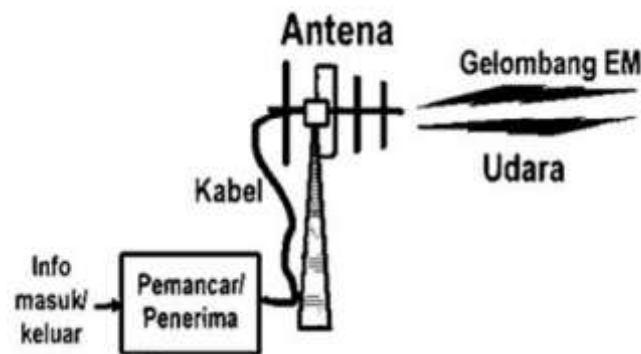
2.1.4 Parameter Antena

Dalam perancangan antenna ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan antara lain seperti *Scattering Parameters* (S-Parameter), *Return Loss*, *Voltage standing Wave Ratio* (VSWR), Pola Radiasi, *Bandwidth*, dan *Gain*.

2.1.4.1 *Scattering Parameters* (S-Parameter)

Scattering Parameters (S-Parameter) adalah parameter yang digunakan untuk menunjukkan perbandingan antara daya yang dipantulkan dan daya yang masuk ke dalam saluran transmisi. Nilai ini umumnya

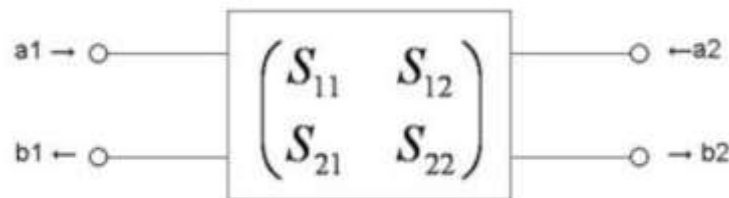
dinyatakan dalam bentuk *return loss* pada frekuensi tertentu (Agustini & Nurhayati, 2021).



Gambar 2.4 Sistem Antena

Sumber : (Agustini & Nurhayati, 2021)

S-Parameter digunakan untuk menganalisis respon antara dua terminal (port) atau lebih, perhitungan dan perancangan alat pada gelombang mikro dengan bentuk linear.



Gambar 2.5 Konsep S-Parameter pada Sistem Dua Terminal

Sumber : (Agustini & Nurhayati, 2021)

2.1.4.2 *Return Loss*

Return Loss merupakan parameter penting dalam desain antena, *return loss* merupakan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (dipantulkan) biasanya ditulis dengan satuan desibel (dB). Kondisi optimal untuk mencapai nilai *Return Loss* terbaik adalah kurang dari -10 dB, karena hal ini menunjukkan tingkat kehilangan daya yang lebih kecil. Namun, dalam pengolahan data matematis, *Return Loss* dinyatakan dengan nilai positif. Oleh karena itu, nilai maksimum yang diizinkan untuk *Return Loss* adalah 10 dB. Di sisi lain jika dilihat dari grafik pengukuran, nilai yang

digunakan adalah kurang dari -10 dB. *Return Loss* terjadi sebab antara transmisi dengan impedansi masukan bebas. Besarnya *Return Loss* akan berbeda-beda, tergantung pada frekuensi yang digunakan, dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (Agustini & Nurhayati, 2021)

$$RL (dB) = 20 \log |\Gamma| \quad (2.10)$$

Dimana :

RL = *Return Loss*

Γ = Koefisien refleksi

2.1.4.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah rasio atau perbandingan antara nilai maksimum ($|V_{max}|$) dan minimum ($|V_{min}|$) dari gelombang berdiri yang terjadi pada saluran transmisi. Nilai VSWR idealnya yaitu ketika bernilai 1. Keadaan ini dianggap ideal karena tidak ada pantulan sinyal yang terjadi pada keadaan tersebut, sehingga saluran dalam keadaan *matched* sempurna. Dan batas maksimum nilai VSWR yang dapat ditoleransi yaitu 2. Nilai VSWR didapatkan dari persamaan : (Pairunan et al., 2018)

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.11)$$

Dimana :

$|V|_{max}$ = Tegangan gelombang maksimum

$|V|_{min}$ = Tegangan gelombang minimum

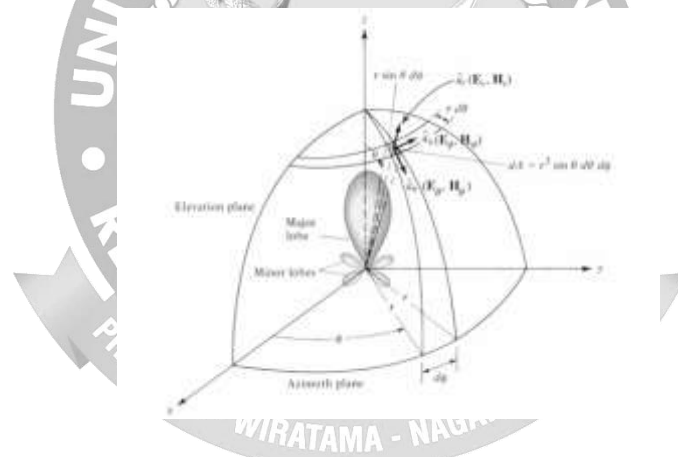
Γ = Koefisien refleksi tegangan

2.1.4.4 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna merupakan representasi grafis yang menunjukkan karakteristik radiasi antenna terhadap arah di ruang sekelilingnya. Pola ini menggambarkan seberapa besar dan ke arah mana

antena memancarkan gelombang elektromagnetik. Pengukuran pola radiasi biasanya dilakukan di daerah medan jauh dan disajikan dalam bentuk koordinat arah. Secara umum, terdapat dua jenis pola radiasi, yaitu pola horizontal dan pola vertikal (Balanis C.A, 2016).

Dalam praktiknya, pola radiasi hasil simulasi dan hasil pengukuran nyata (fabrikasi) bisa berbeda. Umumnya, pola hasil simulasi terlihat lebih fokus, sedangkan pola dari hasil fabrikasi cenderung lebih menyebar. Artinya, perbandingan antara arah utama dan arah lainnya pada hasil pengukuran nyata tidak sebesar yang ditunjukkan oleh simulasi (Saputra M.A. et al., 2018).

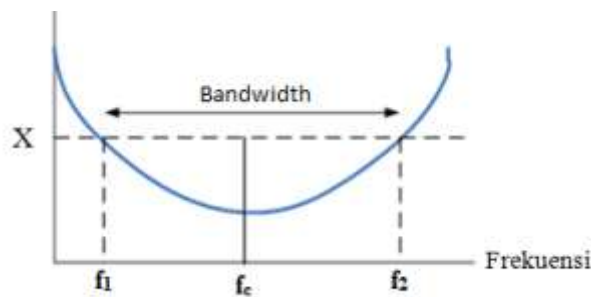


Gambar 2.6 Sistem Koordinat untuk Pola Radiasi Antena

Sumber : (Balanis C.A, 2016)

2.1.4.5 Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita adalah rentang frekuensi yang digunakan oleh suatu sistem. Pada antena, lebar pita ini ditentukan berdasarkan beberapa karakteristik yang harus memenuhi syarat tertentu sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan (Christyono et al., 2016).



Gambar 2.7 Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*

Sumber : (Prakoso & Maharastri, 2012)

Dimana X adalah nilai *Return Loss* (RL) yang dicari, f adalah fungsi frekuensi.

Untuk mencari frekuensi tengah atau frekuensi *center* (f_c) menggunakan persamaan :

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.12)$$

Dan nilai *bandwidth* suatu antenna dapat diperoleh melalui persamaan : (Darsono & Wijaya, 2021)

$$Bw = f_h - f_l \quad (2.13)$$

Dimana :

Bw = *Bandwidth*

f_h = Frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_l = Frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

f_c = Frekuensi tengah atau *center* dalam *band* (GHz)

Ada tiga jenis *bandwidth* yaitu *impedance bandwidth*, *pattern bandwidth*, dan *Axial Ratio Bandwidth* (ARBW). Berikut ini merupakan penjelasan ketiga jenis *bandwidth* tersebut :

- 1) *Impedance bandwidth* adalah rentang frekuensi tertentu dimana patch antenna *matching* dengan saluran catunya. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna (*patch* dan saluran pencatu) bervariasi

nilainya menurut frekuensi. Kondisi *matching* dari suatu elemen antena dapat dilihat dari *return loss* atau VSWR.

- 2) *Pattern bandwidth* adalah rentang frekuensi dengan *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain* memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus kita tentukan sehingga besarnya *bandwidth* dapat ditentukan. Seperti *property* antena lainnya, *beamwidths*, *sidelobe*, dan *gain* juga bervariasi menurut frekuensi.
- 3) *Axial Ratio Bandwidth* (ARBW) adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Dengan menentukan nilai maksimum dari *cross-polarization* atau *axial ratio*, maka *bandwidth* antena dengan polarisasi linier atau melingkar dapat ditentukan. Pada umumnya nilai batas ARBW ≤ 3 . Nilai ARBW yang semakin mendekati 1 menunjukkan polarisasi antena yang semakin melingkar.

Pada tumor payudara, penggunaan bandwidth yang diperlukan untuk deteksi tumor payudara cukup lebar agar stabil di sepanjang operation band. Pada penelitian (Maulida Yumnisari et al., 2017) bahwa antena vivaldi termasuk antena yang bekerja pada frekuensi yang cukup tinggi dengan rentang frekuensi 3.1 – 10.6 GHz pada penelitian, dan juga dapat menghasilkan bandwidth yang lebar sehingga dipilih antena vivaldi sebagai jenis antena yang dirancang.

2.1.4.6 Gain

Gain antena adalah cara untuk membandingkan seberapa kuat antena memancarkan sinyal ke arah tertentu dibandingkan dengan antena yang memancarkan sinyal secara merata ke semua arah (isotropik), dengan daya yang sama. *Gain* juga memperbesar amplitudo sinyal dari *input* ke *output*. Berikut adalah persamaan untuk menentukan gain antena menggunakan daya transfer yang terukur seperti ditunjukkan pada: (Mistry et al., 2019)

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_t G_r \quad (2.14)$$

Dimana :

G_t = Penguatan antenna pemancar

G_r = Penguatan antenna penerima

Persamaan ini dapat ditulis ulang dalam dB sebagai:

$$G_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (2.15)$$

Dimana G_{dB} merupakan *gain* dalam dB, selain itu R merupakan jarak antara dua antenna, dan P_t merupakan daya pancar, P_r merupakan daya terima, serta λ merupakan panjang gelombang. Sedangkan $20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)$ dalam persamaan merupakan *Free-Space Propagation Loss* (FSPL) atau rugi perambatan ruang bebas, dan $10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$ merupakan nilai S_{21} .

Gain antenna berfungsi untuk memancarkan energi elektromagnetik dengan efisiensi tinggi, yakni pada deteksi tumor payudara. Dalam pengaplikasian pada deteksi tumor payudara, *gain* yang tinggi memungkinkan antenna untuk memfokuskan sinyal ke area jaringan payudara tertentu. Meningkatkan penetrasi sinyal ke jaringan biologis dan mengoptimalkan pantulan dari struktur internal, seperti jaringan tumor. *Gain* juga meningkatkan *Sinyal Noise Ratio* (SNR), sehingga sinyal pantulan dari tumor yang lemah dapat diidentifikasi dengan jelas. Hal ini dapat membantu membedakan karakteristik elektromagnetik jaringan sehat dan jaringan yang bermasalah seperti tumor (Kumar H.V. & Nagaveni, 2020).

2.1.5 Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang dapat berubah menjadi panas. Gelombang ini berfungsi sebagai penghubung antar media berdasarkan muatan yang dibutuhkan oleh setiap partikel, sehingga dapat menjadi bagian dari gelombang listrik. Gelombang mikro memiliki frekuensi antara 300 MHz hingga 300 GHz dan dimanfaatkan di berbagai bidang, seperti komunikasi, navigasi, satelit, industri, radar, peralatan rumah tangga (seperti microwave

oven), serta di bidang kesehatan. Karakteristik utama gelombang mikro mencakup frekuensi tinggi (300 MHz sampai 300 GHz), memiliki panjang gelombang yang pendek (1 mm sampai 1 meter), kebutuhan akan jalur pandang langsung (*line of sight*) untuk transmisi, dan kemampuan menembus material tertentu (Suryaningrum & Samsudin, 2019). Pada karakteristik yang disebutkan, menjadikan gelombang mikro ini sangat efektif untuk digunakan dalam teknologi presisi tinggi, termasuk bidang medis.

Prinsip gelombang mikro melibatkan fenomena elektromagnetik, yaitu gelombang mikro terdiri dari medan listrik dan magnet yang saling berinteraksi. Gelombang mikro dapat dipantulkan oleh permukaan konduktif, seperti logam yang digunakan dalam radar untuk mendeteksi objek. Gelombang mikro juga dapat dibiaskan ketika melewati medium dengan indeks bias berbeda yang dapat mempengaruhi arah perambatannya. Penyerapan terjadi saat gelombang mikro diserap oleh material, mengubah energi menjadi panas. Resonansi muncul ketika gelombang mikro berinteraksi dengan molekul tertentu, seperti air atau jaringan tubuh pada frekuensi tertentu. Selain itu, gelombang mikro juga mengalami difraksi saat melewati celah serta memiliki sifat polarisasi yang memungkinkan pengaturan orientasi medan listrik. Terakhir terjadi peredaman (melemah) terjadi akibat interaksi gelombang dengan material, menyebabkan penurunan intensitas energi tergantung pada sifat medium dan frekuensinya (Kurnia & Sudarti, 2021). Pada prinsip-prinsip ini menjadikan gelombang mikro berguna dalam aplikasi komunikasi, radar, dan *imaging* medis.

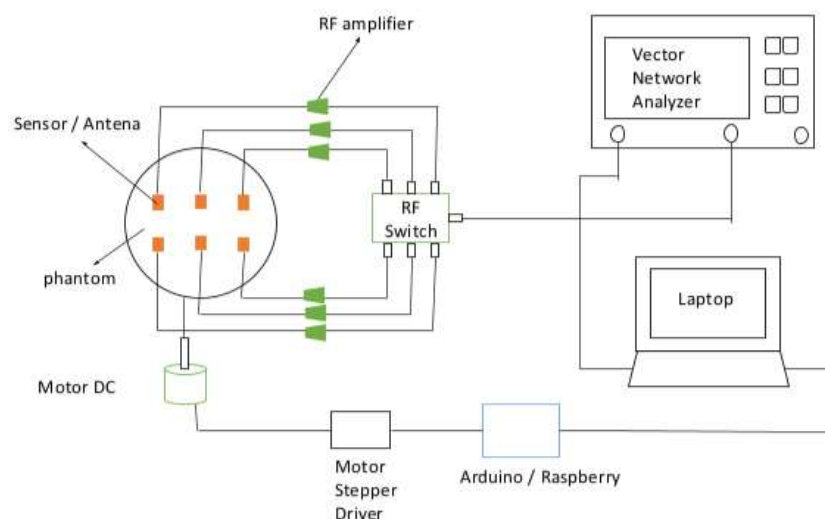
2.1.6 Deteksi Gelombang Mikro Terhadap Tumor Payudara

Deteksi gelombang mikro merupakan metode pencitraan medis non-invasif dan non-ionisasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi mikro yang berguna untuk memetakan dan mengidentifikasi jaringan biologis, seperti mendeteksi keberadaan tumor payudara. Metode ini menggunakan perbedaan sifat dielektrik antara

jaringan yang sehat dan jaringan tumor untuk menemukan keberadaan anomali di suatu jaringan (Gunnarsson, 2006); (Benny et al., 2020).

Fitur utama deteksi tumor payudara dengan deteksi gelombang mikro adalah kontras yang signifikan antara konduktivitas dan permitivitas jaringan normal dan tumor dalam frekuensi gelombang mikro. Perbedaan parameter hamburan antara jaringan normal dan kanker terjadi karena perbedaan konstanta dielektrik (Salleh et al., 2015).

Menurut (Nursanni, 2021) gelombang mikro memiliki dua komponen utama yaitu komponen magnetik dan dielektrik, yang dilihat dari sudut pandang teoritis. Kedua komponen ini saling berhubungan, ketika interaksi terjadi melalui komponen dielektrik, maka akan muncul medan internal yang terinduksi, baik secara bebas maupun terbatas. Sementara itu, pada komponen magnetik, induksi medan memberikan pengaruh terhadap tingkat magnetisasi. Oleh karena itu, saat kedua komponen ini digunakan bersama, interaksi antara keduanya harus saling mendukung dan berkaitan erat.



Gambar 2.8 Skema Set Up Deteksi Tumor Payudara Menggunakan Sensor atau Antena

Sumber : (Islam et al. 2019)

2.1.7 Fast Fourier Transform (FFT) dan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Fast Fourier Transform (FFT) dan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) merupakan dua metode yang umum digunakan dalam mengolah data hasil deteksi sistem radar menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). FFT merupakan algoritma yang efisien dalam memproses suatu komputasi yang kaitannya dengan pengolahan data. FFT dalam hal pengolahan data pada sistem radar umumnya digunakan untuk mengubah hasil data pada domain waktu menjadi domain frekuensi. Pada FFT terdapat dua kondisi, yaitu ketika n bernilai genap yang dinyatakan dengan $2n$, dan ketika n bernilai ganjil yang dinyatakan dengan $2n+1$. Berikut merupakan persamaan umum dari FFT :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{nk} \quad (2.16)$$

Berikut $X(k)$ ketika n bernilai genap dan ganjil,

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) \cdot W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) \cdot W_N^{(2n+1)k} \quad (2.17)$$

Dimana $X(k)$ merupakan FFT pada domain frekuensi dengan nilai k tertentu sesuai yang ditentukan, selain itu N merupakan banyaknya data keluaran dari *Vector Network Analyzer* (VNA). Sedangkan $x(n)$ merupakan hasil data *Vector Network Analyzer* (VNA) yang berada pada domain waktu dengan W_N merupakan faktor yang biasa dinyatakan dengan $e^{-j(2\pi/N)}$. Pada persamaan (2.16), $\frac{N}{2}$ pada sigma muncul agar ketika dijumlahkan nilai N akan tetap sama seperti nilai N yang digunakan pada data.

Fungsi IFFT merupakan kebalikan dari FFT. IFFT merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mengubah data pada domain frekuensi menjadi domain waktu. Pada IFFT juga terdapat dua kondisi, yaitu ketika k bernilai genap yang dinyatakan dengan $2k$ dan ketika k bernilai ganjil yang

dinyatakan dengan $2k+1$. Berikut ini merupakan persamaan umum dari IFFT :

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot W_N^{-nk} \quad (2.18)$$

Berikut $x(n)$ ketika k bernilai genap dan ganjil,

$$x(n) = \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} X(2k) \cdot W_N^{2kn} + \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} X(2k+1) \cdot W_N^{(2k+1)n} \quad (2.19)$$

Dimana $x(n)$ merupakan IFFT dengan hasil pada domain waktu pada nilai n tertentu, dengan N merupakan jumlah data keluaran *Vector Network Analyzer* (VNA). Selain itu, $X(k)$ merupakan hasil data *Vector Network Analyzer* (VNA) yang berada pada domain frekuensi dengan W_N sama seperti pada FFT. Pada persamaan (2.19) sama halnya seperti persamaan (2.17), $\frac{N}{2}$ pada sigma muncul agar ketika dijumlahkan nilai N akan tetap sama seperti nilai N yang digunakan pada data. Karena IFFT merupakan *inverse*, maka persamaan hasil proses IFFT akan seperti persamaan (2.18) atau FFT (Dhiyani et al., 2022).

Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) merupakan algoritma yang digunakan secara efisien untuk perhitungan transformasi balik *Fourier*. IFFT merupakan kebalikan dari FFT (*Fast Fourier Transform*) dan mengubah sinyal dalam domain frekuensi kembali ke domain waktu. Bahwa sinyal hamburan balik domain waktu dianalisis dan penghilangan artefak telah diterapkan menggunakan algoritma adaptif data untuk menghilangkan artefak waktu awal pada sinyal refleksi tumor yang diterima. Konversi dari domain frekuensi ke domain waktu digunakan untuk mendapatkan sinyal yang lebih baik dengan menghilangkan noise dan riak dari sinyal domain waktu. Selain itu keuntungan lainnya termasuk *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang lebih baik. Oleh karena itu IFFT telah diterapkan sebagai proses transformasi sinyal domain frekuensi ke domain waktu (Salleh et al., 2015); (Benny et al., 2020)

2.1.8 *Phantom* Payudara

Phantom payudara adalah replika buatan dari organ atau bagian tubuh yang direncanakan untuk meniru struktur dan aset fisik dari bagian organik yang cocok seperti bagian payudara. *Phantom* payudara juga bisa digunakan dalam pengujian non-invasif untuk kalibrasi perangkat medis seperti antena pendeteksi tumor. *Phantom* dirancang agar memiliki karakteristik dielektrik yang mirip dengan jaringan manusia pada frekuensi tertentu. Jenis *phantom* payudara terbagi menjadi 2, yaitu jenis *phantom* homogen dan heterogen. Dimana *phantom* homogen memiliki lapisan kulit, lemak, dan tumor di dalamnya. Sedangkan *phantom* heterogen memiliki lapisan kulit, lapisan lemak, tumor, dan kelenjar sebagai pembeda dari *phantom* homogen (Islam et al., 2018).

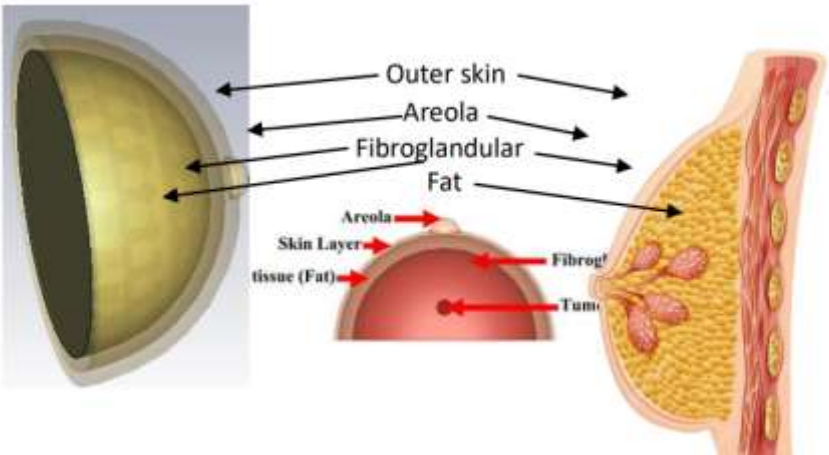
2.1.9 Karakteristik Dielektrik *Phantom* Payudara

Studi komprehensif tentang sifat dielektrik jaringan sehat dan ganas dalam skala besar sudah pernah dilakukan oleh (Lazebnik et al., 2007). Bahwasannya struktur *phantom* payudara sangat kompleks dan terdiri dari berbagai jaringan. Sifat dielektrik untuk 3 jaringan disebutkan dalam Tabel 2.1 (Kumar H.V. & Nagaveni, 2020).

Tabel 2.1 Sifat Dielektrik Jaringan Payudara

Jaringan	Permitivitas (ϵ_r)	Konduktivitas (σ) (S/m)
Kulit	36	1.4 – 2.5
Jaringan Lemak	7.2 – 10.8	0.1 – 0.4
Jaringan Kelenjar	32 - 47	1.0 – 1.8
Sel Tumor	56	1.8 – 4.0

Sumber : (Zerrad et al., 2022) dan (Maulida Yumnisari et al., 2017)



Gambar 2.9 Model *Phantom* Payudara dan Lapisannya

Sumber : (Jester et al., 2024)

Seperti halnya pada gambar 2.9 merupakan struktur jaringan biologis payudara manusia yang dapat ditiru oleh *phantom* payudara dengan menggunakan sifat dielektrik yang sama dengan payudara asli manusia. *Phantom* payudara dirancang untuk mensimulasikan kondisi nyata, sehingga dapat digunakan sebagai replika dari keadaan payudara asli pada manusia.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Penulis dan Tahun	Judul	Objek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil
1.	Maulida Yumnisari, Bambang Setia Nugroho dan Pamungkas Daud (2017)	Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip <i>Ultra Wideband</i> untuk Deteksi Kanker Payudara	Perancangan, simulasi, dan pengoptimasian antena vivaldi antipodal untuk deteksi kanker payudara pada frekuensi 3.1 GHz – 10.6 GHz	Analisa dengan membandingkan nilai <i>E-Field</i> , <i>H-Field</i> dan <i>current density</i> pada antena dengan struktur jaringan payudara dengan kanker dan tanpa kanker, serta melakukan prediksi kedalaman kanker payudara	Pada penelitian ini ditemukan parameter antena hasil simulasi telah sesuai spesifikasi antena yang diinginkan, dan pada nilai <i>E-Field</i> , <i>H-Field</i> dan <i>current density</i> pada struktur jaringan payudara tanpa kanker akan lebih kecil jika dibandingkan dengan struktur jaringan payudara dengan kanker
2.	Baso Maruddani,	Perancangan dan Optimasi	Mendesain antena vivaldi untuk digunakan dalam	Mengubah beberapa	Hasil penelitian ini menghasilkan antena vivaldi

	Efri Sandi dan Muhammad Fadhil Naufal Salam (2019)	Antena Vivaldi pada Sistem Radar Penembus Permukaan (<i>Ground Penetrating Radar</i>)	sistem <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR), mengoptimasikan desain antena dengan memvariasikan parameter seperti lebar, panjang, dan <i>taper slot</i> meruncing untuk mencapai rentang frekuensi dan kinerja 1-2 GHz yang diinginkan, serta memastikan desain antena yang dioptimasikan dapat mempertahankan pola radiasi terarah	parameter untuk mencapai spesifikasi yang diinginkan dalam merancang dan mengoptimasi antena vivaldi	dengan dimensi 350x300 mm dengan <i>return loss</i> di bawah -10 dB pada rentang frekuensi 1-2 GHz, serta menunjukkan bahwa perubahan nilai parameter lebar antena dan <i>tapered slot</i> menggeser frekuensi kerja antena secara signifikan
3.	Rando Saputra, Yusnita	Perancangan dan Pengukuran Antena	Merancang dan mengembangkan antena mikrostrip fleksibel	Merancang dan mensimulasikan mikrostrip fleksibel	Hasil dari penelitian ini ialah dari hasil simulasi antena mikrostrip fleksibel dengan

Rahayu, dan Yuyu Wahyu (2020)	Mikrostrip Fleksibel untuk Pendeteksi Tumor Payudara	menggunakan teknik pencatatan <i>coplanar waveguide</i> (CPW), mengoperasikan antena pada rentang frekuensi 4- 6 GHz dengan lebar pita yang lebar, serta mensimulasikan dan mengukur kinerja antena menggunakan model <i>phantom</i> payudara dengan tanpa tumor	menggunakan <i>software HFSS</i> 15.0, menggunakan <i>substrat PET</i> fleksibel dengan konstanta dielektrik 3 dan ketebalan 0,135 mm, dicetak dengan tinta perak, serta mengukur kinerja antena dengan simulasi menggunakan <i>phantom</i> payudara, dengan dan tanpa tumor 1 mm	nilai <i>return loss</i> yang didapat sebesar -23,5 dB dan <i>bandwidth</i> yang diperoleh sebesar 3 GHz (5,5 GHz-9 GHz) pada frekuensi kerja 6 GHz. Dan pada pola radiasi yang dihasilkan membentuk pola <i>omni-direction</i> yang mendominasi area bawah dari antena, dimana area ini adalah arah ukur dari pantulan gelombang antena yang bersentuhan dengan payudara dan diharapkan dapat menjangkau area yang lebih luas disekitaran antena. Serta terlihat hasil perbedaan dengan ada dan tidak adanya
--	---	--	--	--

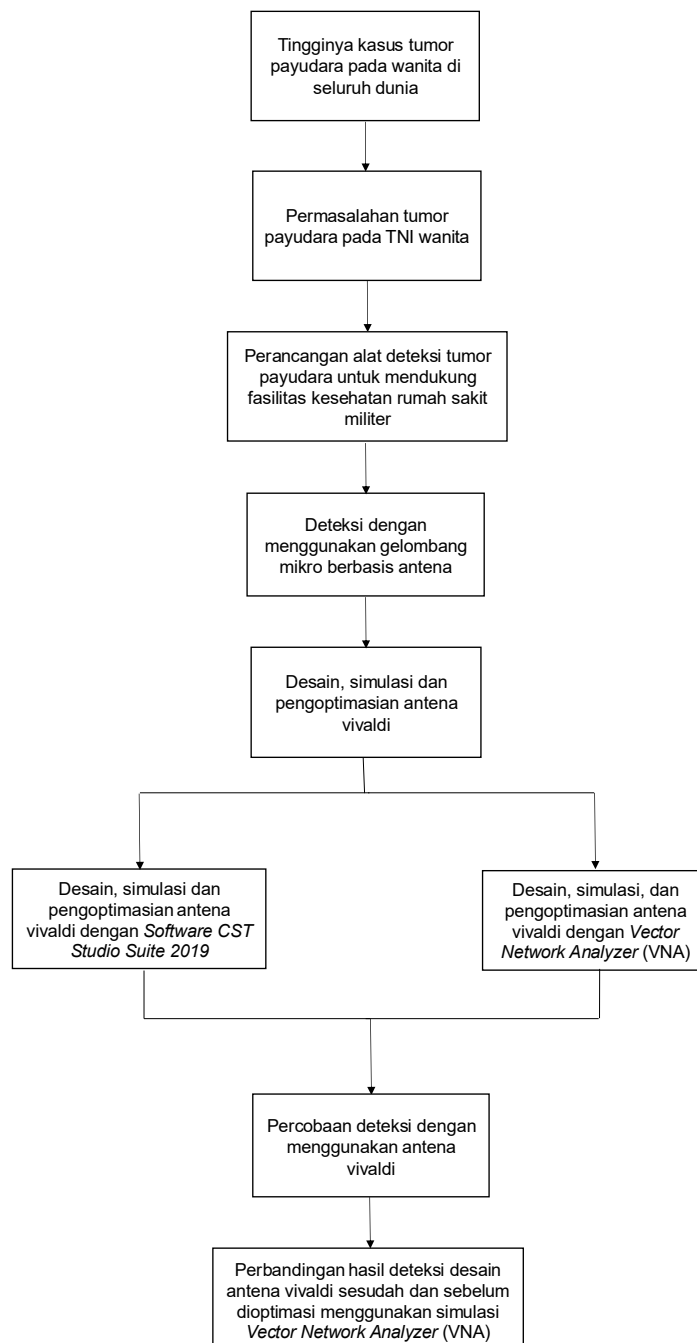
					tumor oleh <i>phantom</i> yang dilihat dari hasil S11 dari data antena mendeteksi tumor, terdapat perbedaan pada garis grafik yang dihasilkan.
--	--	--	--	--	--

Sumber : (Diolah dari Berbagai Referensi Penulis)



2.3 Kerangka Berpikir

Berdasarkan hasil studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, didapatkan hasil kerangka berpikir yang diolah oleh penulis yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.10 Kerangka Berpikir

Sumber : (Diolah oleh Peneliti)

2.4 Hipotesis

- a. Optimasi antenna vivaldi dapat meningkatkan akurasi deteksi tumor payudara yaitu dengan cara mengubah nilai parameter dimensi antenna seperti nilai parameter Lebar Antena (LA), Panjang Antena (PA), dan *Tapered Slot*. Peningkatan efisiensi radiasi dan penguatan antenna melalui pengoptimasian akan memperbaiki resolusi sinyal pada antenna, meningkatkan penetrasi jaringan, serta memperjelas kontras antara jaringan sehat dan tumor. Pada deteksi tumor payudara dengan frekuensi 2-8 GHz ini dapat diduga hasil dari kinerja antenna dapat lebih akurat, karena pada penggunaan rentang frekuensi 2-8 GHz tergolong dalam pemakaian frekuensi yang relatif tinggi pada penggunaan antenna model vivaldi serta menghasilkan *bandwidth* yang besar. Sehingga data deteksi yang didapat akan lebih jelas dibandingkan dengan penggunaan frekuensi rendah.
- b. Variabel yang diubah dalam optimasi antenna meliputi nilai parameter dimensi antenna seperti Lebar Antena (LA), Panjang Antena (PA), dan *Tapered Slot*. Dengan demikian, pengaruh dari perubahan variabel yang akan diubah dapat menghasilkan keluaran S-Parameter S11, *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain* antenna dapat menjadi acuan dalam pendeteksian tumor.
- c. Hasil deteksi dapat dianalisis melalui perbandingan dari hasil beberapa spesifikasi parameter antenna sebelum dan sesudah optimasi. Indikator yang digunakan meliputi hasil data pemfilteran deteksi antara jaringan sehat dan tumor.