

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Antena

Antena berfungsi untuk merambatkan dan menerima gelombang radio atau elektromagnetik (Ardelina, 2016). Dalam sistem *transmisi*, antena berperan sebagai penghubung antara saluran *transmisi* dan ruang bebas (udara) (Ardelina, 2016). Proses ini melibatkan dua fungsi utama yaitu pemancaran dan penerimaan dimana pemancaran adalah proses di mana sinyal listrik dari saluran *transmisi* diubah menjadi gelombang elektromagnetik dan dipancarkan ke ruang bebas melalui antena dan sebaliknya penerimaan adalah proses di mana gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari ruang bebas diterima oleh antena dan diubah kembali menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh perangkat penerima (Rahmatia *et al.*, 2016). Agar proses ini berjalan efektif, antena harus disesuaikan dengan saluran pencatunya (Wibowo, 2017), Ketidaksesuaian antara komponen dalam sistem dapat menyebabkan terjadinya pantulan sinyal yang tidak diinginkan dan berdampak merugikan pada kinerja deteksi.

Dalam konteks ini, pemilihan jenis antena menjadi aspek penting karena setiap jenis antena memiliki karakteristik yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem (Rahmatia *et al.*, 2016). Salah satunya yaitu antena mikrostrip yang banyak digunakan karena bobot ringan dan kemudahan dalam proses produksinya sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan desain yang ramping dan efisien ruang (Wibowo, 2017). Struktur utama antena mikrostrip terdiri dari tiga komponen yaitu *patch*, substrat, dan *ground plane* (Ikbar *et al.*, 2024). *Patch*, yang terbuat dari bahan konduktor, berfungsi sebagai elemen radiatif yang memancarkan gelombang elektromagnetik ke udara. Substrat, yang terletak di bawah *patch*, terbuat dari bahan dielektrik dan berfungsi sebagai media penyalur

gelombang elektromagnetik dari pencatu ke *patch*, serta memisahkan *patch* dari *ground plane*. *Ground plane*, yang terletak di bawah substrat dan juga terbuat dari bahan konduktor, berfungsi sebagai *ground* untuk antena, membantu dalam pembentukan pola radiasi (Wibowo, 2017)

Salah satu contoh dari antena mikrostrip yaitu Antena Vivaldi, yang dikenal karena kemampuannya untuk beroperasi dalam rentang frekuensi ultra-lebar, dikelompokkan dalam tiga kategori utama yaitu vivaldi co-planar, antipodal, dan antipodal balans (Saputra *et al.*, 2018). Antena antipodal vivaldi, Pada tipe ini, satu lapisan antena dicetak di bagian atas substrat, sementara lapisan lainnya dicetak di bagian bawah dengan arah berlawanan. Pencatuan dilakukan melalui saluran mikrostrip untuk mengurangi pantulan dan memastikan karakteristik impedansi 50Ω (Herda *et al.*, 2023). Antena memiliki *bandwidth* lebar dan pola radiasi *direct* (Herda *et al.*, 2023). *Patch* antena antipodal dirancang untuk meniadakan perbedaan fase antara dua bagian *patch*, menghasilkan kinerja yang lebih baik dalam hal pola radiasi. dengan substrat secukupnya dan metode *slotted edge* berskala ganda, memperbaiki pola radiasi.

Antena antipodal Vivaldi adalah jenis antena *ultra-wideband* (UWB) yang sering digunakan dalam dunia medis, termasuk untuk mendeteksi tumor, karena kemampuannya memancarkan dan menerima sinyal elektromagnetik dengan akurasi tinggi pada berbagai frekuensi. Dalam desain antena ini, tembaga sering digunakan sebagai bahan utama pada *patch* karena kemampuannya menghantarkan listrik dengan sangat baik, sehingga menghasilkan sinyal yang efisien dan mengurangi kehilangan energi, serta memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi yang membuatnya cocok untuk aplikasi frekuensi tinggi. Untuk bagian substrat, FR-4 menjadi pilihan utama berkat sifat dielektriknya yang stabil, kekuatan fisiknya yang baik, dan biaya yang terjangkau, selain kemudahannya dalam proses fabrikasi seperti pembuatan PCB (papan sirkuit cetak). Kombinasi tembaga dan FR-4 ini memungkinkan antena bekerja secara optimal,

terutama dalam pencitraan gelombang mikro untuk membedakan jaringan tubuh yang sehat dengan yang terkena tumor.

Untuk menghitung antena Vivaldi antipodal, beberapa tahap perlu dilakukan (Herda *et al.*, 2023).

$$W = L = A = B = \frac{c}{2f_1} \sqrt{\frac{2}{(\epsilon_r + 1)}} \quad (2.1)$$

$$R1 = \frac{W}{2} + \frac{wf}{2} \quad (2.2)$$

$$R2 = \frac{W}{2} - \frac{wf}{2} \quad (2.3)$$

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.4)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.5)$$

Penentuan wf menggunakan persamaan berikut

$$wf = \frac{120\pi h}{\epsilon_r Z_0} \quad (2.6)$$

Tabel 2. 1 Tabel Parameter Antena

Parameter	Keterangan
A	Lebar Substrat
B	Panjang Substrat
W	Lebar <i>Patch</i>
L	Panjang <i>Patch</i>
R1	Jari Jari Kiri
R2	Jari Jari Kanan
h	Ketebalan Substrat
hp	Ketebalan <i>Patch</i>
L _f	Panjang Saluran Mikrostrip
W _f	Lebar Saluran Mikrostrip

Kemudian, dalam proses pengiriman dan penerimaan sinyal melalui ruang bebas, jarak optimal antara pemancar dan penerima sangat mempengaruhi

kualitas *transmisi*. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus farfield yaitu daerah jauh dari sumber gelombang, di mana gelombangnya sudah menyebar dengan rapi dan teratur. yang mempertimbangkan faktor, seperti frekuensi sinyal dan diameter antenna (Capozzoli *et al.*, 2024).

$$r_F \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.7)$$

Keterangan:

r_F = *Farfield*

D = Diameter Antena

λ = Panjang Gelombang

Selain itu, efektivitas dan kinerja antenna juga dipengaruhi oleh sejumlah parameter penting, termasuk *return loss*, *bandwidth*, dan pola radiasi.

2.1.1.1 Return Loss

Return loss adalah parameter yang mengukur perbandingan antara amplitudo gelombang yang direfleksikan dengan amplitudo gelombang yang dikirimkan oleh antenna (Wibowo, 2017). Parameter ini penting untuk menilai seberapa baik antenna dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan. Antena yang ideal memiliki nilai *return loss* ≤ -10 dB (Rasyidin, 2016), yang menunjukkan bahwa amplitudo gelombang yang direfleksikan jauh lebih kecil dibandingkan dengan amplitudo gelombang yang dikirimkan dari saluran *transmisi*, sehingga saluran *transmisi* telah sesuai dengan antenna (Ardelina, 2016).

2.1.1.2 Scattering Parameter (S-Parameter)

Scattering parameter, atau S-parameter, adalah ukuran yang menyatakan rasio daya yang dipantulkan atau diteruskan terhadap daya yang masuk ke dalam suatu saluran transmisi. S-parameter digunakan untuk menganalisis respon dari dua terminal (*port*) atau lebih dalam sistem gelombang mikro (Ardelina, 2016). S-parameter diukur dalam port-port yang berbeda dari perangkat. S11 menggambarkan rasio daya yang dipantulkan kembali ke port 1 ketika sinyal dikirim ke port tersebut,

memberikan informasi tentang refleksi pada port 1. Di sisi lain, S21 menunjukkan rasio daya yang diteruskan dari port 1 ke port 2, mengindikasikan seberapa efektif daya dari port 1 diteruskan ke port 2 (Rasyidin, 2016).

2.1.1.3 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna adalah representasi grafik dari sifat radiasi antenna untuk memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana antenna menyebarkan atau menerima sinyal (Rasyidin, 2016). Salah satunya yaitu Antena *Directional* memiliki pola radiasi yang relatif terfokus ke satu arah tertentu (Rahmatia *et al.*, 2016), memungkinkan antenna untuk menjangkau jarak yang relatif jauh (Rasyidin, 2016). Pola radiasi ini ditandai dengan sudut pancaran yang sempit dan daya yang lebih terarah. Antena ini efektif dalam mencapai jarak yang jauh. Antena dengan pola radiasi *directional* ideal untuk aplikasi yang memerlukan *transmisi* sinyal terarah (Rahmatia *et al.*, 2016).

2.1.1.4 Bandwidth

Bandwidth adalah parameter penting yang menentukan rentang frekuensi di mana sebuah antenna dapat berfungsi secara efektif sebagai pengirim atau penerima sinyal. Antena harus mampu beroperasi dengan baik dalam rentang frekuensi tersebut agar dapat memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik dengan optimal. *Bandwidth* antenna mengacu pada daerah frekuensi di mana antenna dapat mempertahankan kinerja yang memadai (Ardelina, 2016). *Bandwidth* yang lebih besar menunjukkan kemampuan antenna untuk beroperasi pada berbagai frekuensi tanpa kehilangan kinerja. Dengan demikian, *bandwidth* adalah indikator penting dari kapasitas antenna untuk menangani sinyal dalam berbagai rentang frekuensi dan mempertahankan performa yang optimal dalam *transmisi* dan penerimaan sinyal.

2.1.2 Karakteristik Dielektrik

Sifat dielektrik tubuh manusia mencakup kemampuan jaringan untuk menghambat atau menghantarkan arus listrik, menyimpan energi listrik,

dan memengaruhi pergerakan muatan listrik di medan listrik. Semua sifat ini dipengaruhi oleh kandungan air dan komposisi jaringan tubuh. Misalnya, konduktivitas (σ) menunjukkan kemampuan jaringan untuk menghantarkan listrik. Kemudian, Permittivitas (σ) menggambarkan seberapa baik jaringan mempengaruhi pergerakan muatan listrik, yang bergantung pada frekuensi medan listrik yang digunakan (Hope & Iles, 2004).

Sifat listrik jaringan dipengaruhi oleh komposisi material dan frekuensi medan listrik yang diterapkan. Tumor memiliki konduktivitas (σ) dan permittivitas (σ) yang lebih tinggi dibandingkan jaringan normal, yang dapat dimanfaatkan dalam diagnosis (Miklavcic & Pavselj, 2018). Hal tersebut memberikan sinyal yang berbeda dalam teknik pengukuran dielektrik dibandingkan dengan jaringan normal (Hope & Iles, 2004). Tabel 2.1 menampilkan sifat dielektrik dari jenis jaringan payudara.

Tabel 2. 2 Dielektrik Jaringan

Material	Konduktivitas (σ)	Permittivitas (σ)
<i>Fibro Glandular</i>	1.63	46.65
Tumor	1.7	55.22

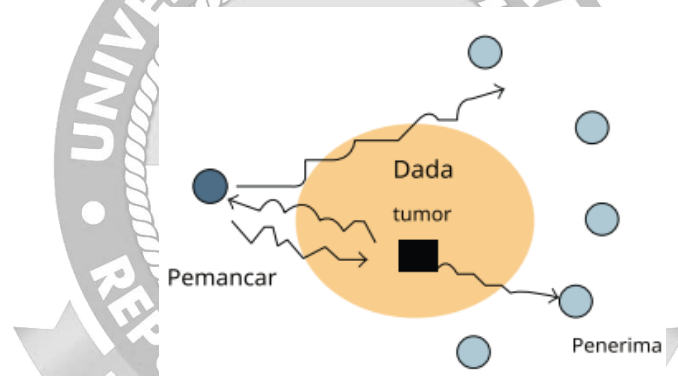
Sumber: (Zerrad et al., 2022)

Berdasarkan Tabel 2.1 dari Zerrad et al. (2022), jaringan tumor memiliki konduktivitas (1.7) dan permittivitas (55.22) tertinggi dibandingkan jaringan lain seperti *fibro glandular*. Artinya, tumor lebih mudah menghantarkan arus listrik dan lebih banyak dipengaruhi oleh medan listrik. Hal ini kemungkinan karena struktur dan kadar air di dalam jaringan tumor berbeda, sehingga membuatnya lebih responsif terhadap medan listrik dibandingkan jaringan lainnya.

2.1.3 Deteksi Tumor Menggunakan Gelombang Mikro

Pencitraan gelombang mikro telah menunjukkan potensi besar dalam deteksi dini kanker payudara. Hal ini disebabkan oleh keamanannya yang tinggi dan biaya yang relatif rendah. Pencitraan gelombang mikro dalam aplikasi medis merupakan teknik yang memetakan distribusi sifat listrik dalam tubuh, terutama dalam frekuensi gelombang mikro (300MHz–

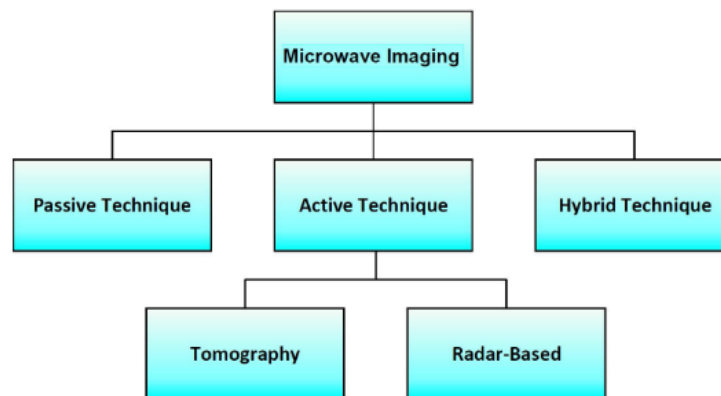
30 GHz). Deteksi kanker payudara menggunakan metode ini didasarkan pada perbedaan sifat listrik antara jaringan kanker dan jaringan normal, yang memungkinkan pencitraan yang cepat, sensitif, dan spesifik (Z. Wang *et al.*, 2014). Gelombang mikro memiliki keunggulan dalam mendeteksi perbedaan sifat dielektrik antara jaringan normal dan jaringan tumor, yang disebabkan oleh variasi kadar air dan densitas jaringan. Dalam deteksi tumor payudara, perangkat berbasis gelombang mikro memanfaatkan antena untuk memancarkan gelombang ke jaringan dan menerima gelombang yang dipantulkan.



Gambar 2.1 Transmisi sinyal deteksi kanker payudara.

Sumber: (Wang, Lim, Tang, & Leach, 2014)

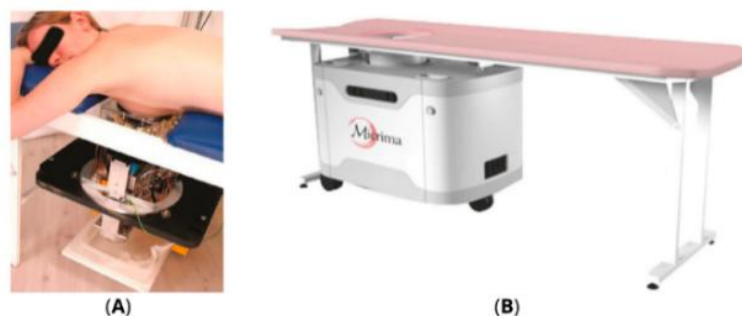
Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana sinyal digunakan untuk mendeteksi tumor di area dada. Ada beberapa bagian penting dalam proses ini. Pertama, ada pemancar yang mengirimkan sinyal, biasanya berupa gelombang ke area dada. Area dada digambarkan berwarna oranye, sementara tumor terlihat sebagai objek hitam di dalamnya. Tumor ini mempengaruhi sinyal dengan menyerap, memantulkan, atau mengubahnya, sehingga pola sinyal yang kembali berbeda dari jaringan sehat. Kemudian, ada penerima yang bertugas menangkap sinyal-sinyal tersebut. Penerima ini biasanya ditempatkan di sekitar area dada untuk memastikan sinyal dari berbagai arah bisa diterima. Saat sinyal berinteraksi dengan jaringan tubuh, terutama jika ada tumor, gelombangnya bisa berubah. Perubahan ini dianalisis untuk mengetahui apakah ada tumor dan seberapa besar pengaruhnya.



Gambar 2. 2 Diagram blok menunjukkan berbagai modalitas yang telah dieksplorasi untuk deteksi kanker payudara berbasis gelombang mikro

Sumber: (Aldhaeebi *et al.*, 2020)

Ada tiga modalitas utama dalam deteksi berbasis gelombang mikro yaitu metode pasif, hibrid, dan aktif.. Pendekatan aktif, yang paling umum, melibatkan penggunaan sinyal gelombang mikro untuk mengukur variasi sifat dielektrik jaringan dan mendeteksi tumor berdasarkan sinyal pantulan yang berbeda antara jaringan sehat dan tumor (Aldhaeebi *et al.*, 2020). Dalam metode aktif dibagi menjadi 2 teknik yaitu tomografi dan radar. Pendekatan berbasis radar, seperti yang dikembangkan oleh Bridges *et al.* (1997), menggunakan sinyal untuk mendeteksi tumor melalui analisis sinyal hamburan balik dari jaringan payudara (L. Wang, 2023).



Gambar 2. 3 Proses deteksi tumor payudara berbasis radar

Sumber: (Wang, 2023)

Beberapa penelitian dan pengembangan sistem pencitraan berbasis radar telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Seperti, *Klemm et al.* merancang sistem MI (*Microwave Imaging*) berbasis radar yang mampu mendeteksi tumor kecil berukuran 8 mm. menunjukkan potensi besar dari teknik ini dalam deteksi dini kanker payudara (*Zerrad et al.*, 2022). Dalam kasus pencitraan payudara, Nilai intensitas terendah menunjukkan lokasi tumor akibat semakin kuatnya pelemahan yang disebabkan oleh jaringan kanker.

2.1.4.1 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) memegang peranan penting dalam analisis sinyal, terutama dalam deteksi tumor payudara menggunakan antenna dan *Vector Network Analyzer* (VNA). Pada metode ini, VNA digunakan untuk mengumpulkan data frekuensi dari sinyal elektromagnetik yang dipancarkan dan diterima oleh antenna. Langkah selanjutnya adalah mengubah data frekuensi tersebut ke dalam domain waktu menggunakan IFFT (*Prakasam et al.* 2021). Dengan mengamati respons sinyal dalam domain waktu, analisis dapat dilakukan lebih efektif.

Transformasi ke domain waktu memungkinkan identifikasi perbedaan waktu tempuh gelombang elektromagnetik antara jaringan sehat dan jaringan yang mengalami perubahan struktur, seperti adanya tumor (*Hammouch et al.*, 2024). Selama proses ini, antenna berperan ganda sebagai pemancar sekaligus penerima sinyal elektromagnetik, yang menjadikannya komponen kunci dalam sistem. Data yang diperoleh dari VNA, setelah diproses menggunakan IFFT, menghasilkan sinyal dalam domain waktu yang jauh lebih mudah dianalisis untuk mendeteksi potensi anomali pada jaringan tubuh.

Dengan demikian, penerapan IFFT dalam sistem ini tidak hanya meningkatkan akurasi dalam memodelkan respons jaringan tubuh, tetapi juga mempercepat proses deteksi dini tumor, yang sangat krusial dalam penanganan kanker payudara (*Hammouch et al.*, 2024). Setelah proses konversi dari domain frekuensi ke domain waktu, dilakukan sejumlah

pengujian untuk mengevaluasi efektivitas sistem deteksi. Pengujian tersebut meliputi:

a. Uji Deteksi

Uji deteksi ini digunakan untuk mendeteksi bagaimana perbedaan pola antara jaringan sehat dengan jaringan tumor (Fear *et al.*, 2002). Setelah antenna dan phantom di fabrikasi maka yang dilakukan yaitu pengujian dengan kondisi lingkungan nyata. Untuk hasil dari polanya nanti akan didapatkan melalui VNA (*Vector Network Analyser*). Kemudian akan diolah data yang didapatkan untuk mendapatkan hasil uji deteksi (Porter *et al.*, 2013).

b. Uji *Filtering*

Pada penelitian ini uji *filtering* adalah proses untuk menghilangkan pengaruh dari PLA hasil 3D printing agar yang terdeteksi hanya cairan jaringan sehat dan cairan jaringan tumor saja (Porter *et al.*, 2013). Dengan persamaan berikut

$$Filtering = Phantom - Phantom \quad (2.9)$$

$$Filtering = Cairan - Phantom \quad (2.10)$$

$$Filtering = Tumor - Phantom \quad (2.11)$$

Diharapkan hasil lebih fokus pada jaringan tumor dengan cara masing masing dari komponen yang diukur dikurangi oleh *phantom* atau PLA guna untuk menghilangkan pengaruh PLA dan memperjelas hasil deteksi (Fear *et al.*, 2002).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

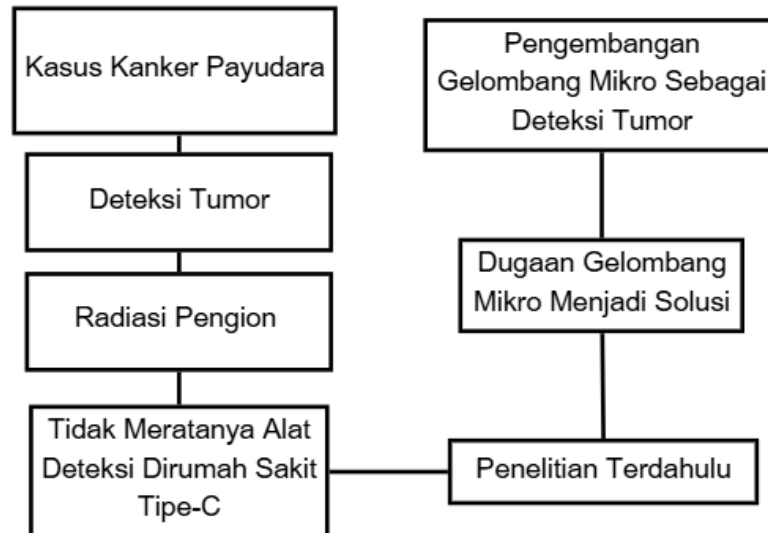
Judul	Tujuan	Metode Penelitian	Kesimpulan	Perbedaan
Perancangan Antena Vivaldi Antipodal 2 - 18 GHz untuk <i>Radio Direction Finder</i> (Herda et al., 2023)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena vivaldi antipodal yang efektif untuk mendukung kegiatan direction finding pemancar ilegal pada pita frekuensi 2-18 GHz.	Metode yang digunakan meliputi penentuan spesifikasi antena, perancangan menggunakan perangkat lunak CST, dan analisis hasil simulasi.	Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena yang dirancang memenuhi spesifikasi. Pembuktian ini menunjukkan bahwa antena vivaldi antipodal yang dioptimalkan dapat berfungsi secara efektif.	Pada skripsi ini dilakukan pengujian secara simulasi dan langsung dengan eksperimen.
<i>Detection of Breast Tumour Depth using Felt Substrate Textile Antenna</i> (Rahayu et al., 2024)	tujuan utama penelitian tersebut adalah merancang antena tekstil berbahan substrat felt untuk mendeteksi kedalaman tumor payudara pada frekuensi <i>ultra-wideband</i> (UWB).	Metode penelitian meliputi perancangan antena menggunakan perangkat lunak CST Studio, fabrikasi antena, dan pengujian pada <i>phantom</i> payudara. Simulasi dilakukan untuk mengoptimalkan desain antena dan mengevaluasi kinerjanya.	Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa antena tekstil berbahan felt yang dirancang mampu mendeteksi kedalaman tumor payudara dan memvisualisasikannya dalam bentuk gambar 2D/3D.	Pada skripsi ini bahan yang digunakan pada pembuatan antena yaitu tembaga dan FR-4.
<i>Symmetrical and Asymmetrical</i>	Mengembangkan <i>phantom</i> payudara simetris dan	<i>Phantom</i> dibuat dengan pencetakan 3D berbahan PLA dan	Citra yang dihasilkan dari sistem pencitraan <i>microwave</i>	Pada skripsi ini juga

<i>Breast Phantoms With 3D-Printed Anatomical Structure for Microwave Imaging of Breast Cancer (Zerrad et al., 2022)</i>	asimetris dengan struktur realistis untuk mendukung deteksi kanker payudara menggunakan pencitraan <i>microwave</i> .	diisi campuran air, tepung, minyak zaitun, <i>petroleum jelly</i> , dan garam untuk meniru jaringan payudara.	mampu mendeteksi keberadaan tumor, bahkan pada ukuran kecil, dengan jelas pada <i>phantom</i> .	menggunakan PLA namun dengan tambahan Air suling, Tepung dan NaCl sebagai pengganti jaringan sehat dan tumor
--	---	---	---	--

Sumber: Diolah oleh peneliti



2.3 Kerangka Berpikir



Gambar 2. 4 Kerangka Berpikir Penelitian

Sumber: diolah oleh peneliti

2.4 Hipotesis

- a. Sistem deteksi tumor pada *phantom* payudara yang menggunakan Antena Antipodal Vivaldi dapat diperkirakan mampu bekerja dengan baik karena dapat memancarkan frekuensi tinggi, memiliki pola radiasi yang terarah, dan dapat menembus jaringan payudara secara optimal.
- b. Sistem deteksi tumor pada *phantom* payudara yang menggunakan Antena Antipodal Vivaldi dapat bekerja dengan baik setelah melakukan uji antenna dan uji *phantom* payudara.