

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

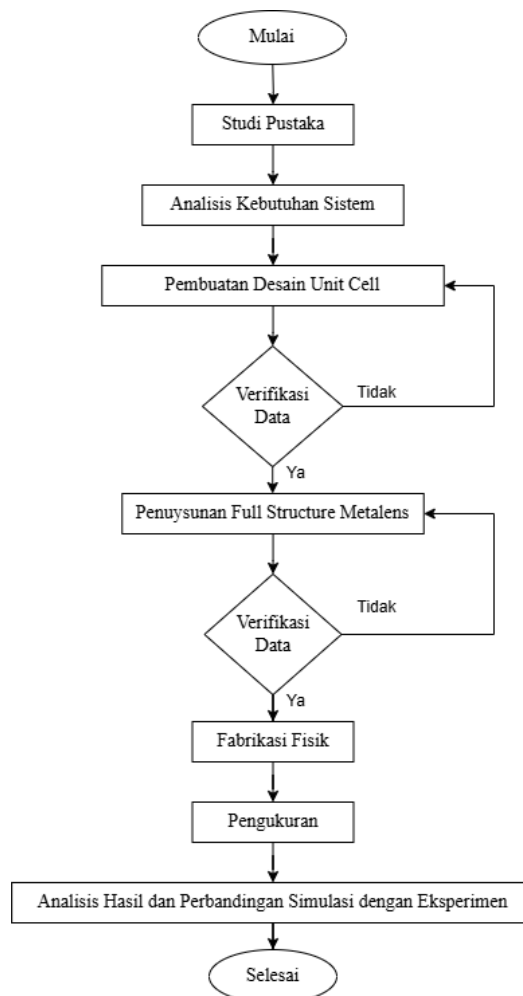
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif evaluatif. Metode ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu merancang dan mengkaji kinerja *metalens* pada frekuensi 24 GHz secara terukur dan sistematis. Pada proses perancangan struktur *metalens*, menggunakan pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak *CST Studio Suite*, di mana parameter penting yang didapat dari simulasi seperti S21 parameter, distribusi fasa dan distribusi magnitude dianalisis untuk memastikan keberhasilan perancangan berbasis teori yang digunakan.

Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang diperoleh berupa data numerik yang dapat diukur, dihitung, dan dibandingkan baik terhadap teori maupun terhadap hasil pengukuran. Evaluasi dilakukan melalui grafik, tabel, dan perbandingan langsung antara hasil simulasi, hasil pengukuran dan rumus teoritis sehingga dapat diketahui seberapa efektif desain yang dibuat dalam mengontrol propagasi gelombang. Metode ini juga mengacu pada pendekatan yang digunakan oleh penelitian relevan, yang menggabungkan simulasi dan pengukuran untuk menilai performa *metasurface* secara kuantitatif (Zhu dkk., 2023). Metode ini selaras dengan pendekatan yang digunakan Zhu dkk, (2023), yang menekankan pentingnya simulasi elektromagnetik dalam merancang unit sel *metasurface* untuk manipulasi gelombang tanpa pantulan.

Secara keseluruhan, desain penelitian ini bersifat rekayasa (*engineering research*) yang tidak hanya mengamati fenomena, tetapi berfokus pada pengembangan teknologi. Hasil dari penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan pemahaman teoretis, tetapi juga menghasilkan struktur *metalens* yang mampu bekerja secara efisien di frekuensi 24 GHz, dengan efisiensi transmisi tinggi, arah pancaran yang terkontrol, dan mendekati kondisi bebas refleksi sesuai prinsip *Huygens*.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini mencakup serangkaian tahapan sistematis yang dilakukan untuk mencapai tujuan perancangan *metalens* berbasis *metasurface* pada frekuensi 24 GHz. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1, tahapan prosedur penelitian ini meliputi: studi pustaka, analisis kebutuhan, pembuatan desain unit sel, verifikasi desain dengan simulasi, penyusunan struktur penuh *metalens*, verifikasi melalui simulasi *near-field*, fabrikasi fisik, pengukuran eksperimental, serta analisis perbandingan antara hasil simulasi, hasil pengukuran dan teori yang relevan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

- a. Tahapan awal dimulai dengan studi literatur, yaitu penelaahan jurnal dan buku ilmiah terkait teori dasar *metasurface*, prinsip kerja *metalens*, teknik pengendalian distribusi fase, serta metode pengukuran antena. Studi ini menjadi dasar dalam menentukan parameter desain dan pendekatan simulasi yang digunakan dalam penelitian.
- b. Tahap selanjutnya adalah perancangan unit sel, yaitu perancangan struktur dasar *metalens* agar mampu memanipulasi fase dan magnitude gelombang elektromagnetik yang datang. Proses ini dilakukan secara *trial and error* dengan menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite* untuk mengetahui S parameter dan fase yang didapat dari desain unit sel yang dirancang.
- c. Setelah merancang unit sel yang optimal, tahap berikutnya adalah penyusunan struktur penuh *metalens*, yaitu dengan menyusun unit sel-unit sel yang telah didapatkan ke dalam konfigurasi *metalens* lengkap berdasarkan rumus distribusi fase hiperbolik. Penyusunan ini dilakukan dalam antarmuka *CST Studio Suite* yang kemudian dijalankan proses simulasi *near-field radiation* menggunakan *frequency domain solver* untuk mengetahui titik fokus dan kontrol fase yang berhasil dibentuk oleh *metalens*.
- d. Setelah struktur *metalens* yang sesuai target berhasil dirancang dan disimulasikan, tahap selanjutnya adalah fabrikasi fisik. Fabrikasi dilakukan menggunakan substrat RO4350B dengan ketebalan 1.5 mm melalui proses *etching*. Fabrikasi diserahkan kepada vendor Spectra yang berlokasi di Bandung, berdasarkan rekomendasi dan rekam jejak sebagai penyedia jasa pembuatan PCB yang telah terbukti andal. Hasil fabrikasi kemudian diperiksa menggunakan alat ukur jangka sorong untuk memastikan dimensi unit sel sesuai dengan desain pada perangkat lunak CST.
- e. Hasil fabrikasi *metalens* diuji di laboratorium gelombang mikro BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) menggunakan sistem pengukuran berbasis *Vector Network Analyzer* (VNA), *open ended waveguide probe* dan horn antena pada rentang frekuensi 20–26 GHz. Pengukuran dilakukan

untuk mendapatkan parameter berupa mencakup parameter S 21. Distribusi magnitude dan distribusi fase

- f. Tahap terakhir adalah analisis dan evaluasi hasil. Pada tahap ini dilakukan perbandingan secara kuantitatif antara hasil simulasi, hasil pengukuran dan teori baik dalam bentuk angka, grafik maupun tabel. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menilai keberhasilan desain dan fabrikasi *metalens*, serta memberikan pemahaman mengenai pengaruh toleransi fabrikasi, konfigurasi pengukuran dan faktor-faktor eksperimental lainnya terhadap performa aktual *metalens*.

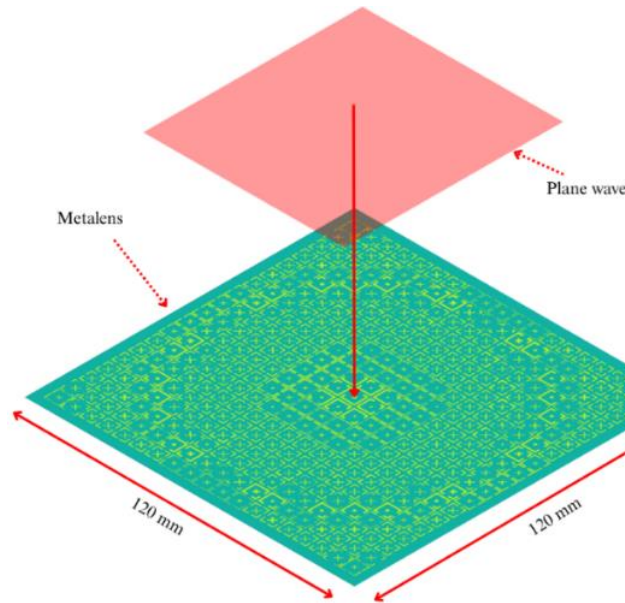
3.3 Teknik Pengambilan Data

Penelitian ini memperoleh data melalui dua cara, pertama dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite menggunakan solver frequency domain untuk mendapatkan data seperti S21 Parameter, distribusi fase dan magnitude pada *E-field*. Kedua, setelah proses fabrikasi selesai, dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan perangkat VNA (Vector Network Analyzer) dan antenna horn untuk memvalidasi performa *metalens* secara eksperimental. Kedua metode ini saling melengkapi untuk melihat sejauh mana hasil simulasi mendekati kondisi nyata di lapangan.

3.3.1 Simulasi Perangkat Lunak

Simulasi ini dilakukan pada perangkat *CST Studio Suite* dengan menggunakan *plane wave excitation*, yaitu pencahayaan datar pada permukaan *metalens*, skema simulasi ini ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Konfigurasi simulasi ini digunakan untuk mengevaluasi distribusi medan listrik (E-field) dan medan magnetik (H-field) setelah melewati struktur. Pada konfigurasi ini, digunakan *boundary condition* berupa *open add space* pada seluruh sisi model 3D untuk memungkinkan propagasi gelombang ke luar tanpa pantulan (*absorbing condition*). Simulasi ini memungkinkan visualisasi pola fokus sinyal, serta pemetaan distribusi fase medan di belakang *metalens*.

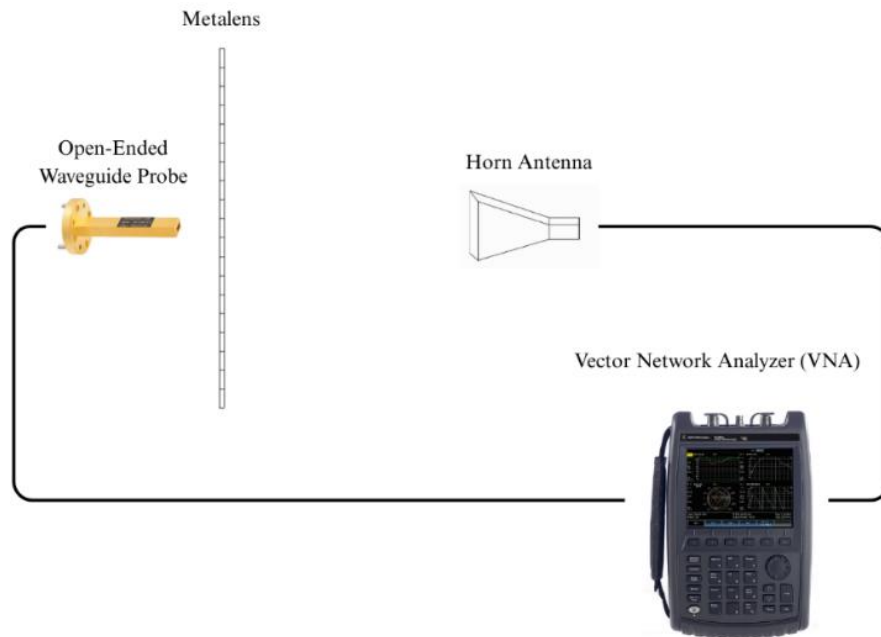
Konfigurasi simulasi pada CST ini juga berpatokan pada penelitian-penelitian yang relevan, karena hasil dari simulasi menggunakan *plane wave* dapat memverifikasi fungsionalitas optik *metalens* (Ha dkk., 2023).



Gambar 3.2 Skema simulasi menggunakan *plane wave*

3.3.2 Pengukuran Fabrikasi

Untuk validasi empiris, dilakukan pengujian *metalens* hasil fabrikasi di laboratorium gelombang mikro BRIN menggunakan horn antenna PE9851/2f-20, *Open ended waveguide probe* dan *Vector Network Analyzer* (VNA) dengan sekema yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Metode ini identik dengan proses dalam penelitian *metasurface* relevan yang memverifikasi secara simulasi dan eksperimen seperti yang dilakukan Ha et dkk, (2023). Data yang diperoleh dari pengukuran berupa *E-field distribution*, *phase distribution*, dan *S21* parameter, semuanya diukur pada rentang frekuensi 20-26 GHz setara dengan data simulasi. Semua data yang didapat dari pengukuran disimpan dalam format Matlab untuk plotting grafik, gambar dan analisis selanjutnya.



Gambar 3.3 Skema pengukuran hasil fabrikasi

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan komparatif. Hasil dari simulasi CST yang berupa distribusi magnitude, distribusi faase, dan titik fokus yang terbentuk dibandingkan dengan data hasil pengukuran dari laboratorium BRIN. Analisis ini juga didasarkan pada perbandingan dengan teori yang telah ada sebelumnya, teori tersebut digunakan sebagai acuan dalam menafsirkan hasil dan dalam pengambilan kesimpulan pada penelitian ini. Pendekatan perbandingan ini dikuatkan oleh contoh penelitian dari Ha et dkk, (2023) yang juga melakukan verifikasi serupa antara simulasi, pengukuran dan teori.

Pada akhirnya, analisis dalam penelitian ini mencakup evaluasi melalui perbandingan antara data simulasi, hasil pengukuran, dan teori, guna menilai tingkat keberhasilan dari penelitian ini.