

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, fabrikasi, dan pengukuran yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa simpulan utama sebagai berikut:

1. *Metalens* berhasil dirancang menggunakan unit sel berbasis *Split Ring Resonator* (SRR) dengan tambahan bentuk “X” pada bagian tengah untuk mempermudah proses fabrikasi lokal. Unit sel ini mampu menghasilkan pergeseran fase mendekati 360° dengan kesalahan fase dari profil hiperbolik sekitar $\pm 20^\circ$, serta menunjukkan respon *polarization independent* terhadap polarisasi TE maupun TM.
2. *Metalens* mampu mengarahkan fokus gelombang secara pasif tanpa memerlukan komponen aktif. Hal ini dicapai melalui penyusunan unit sel berdasarkan distribusi fase hiperbolik sehingga gelombang tiba secara koheren di titik fokus. Efeknya adalah terbentuknya berkas elektromagnetik yang lebih terfokus dan tajam, sehingga energi radiasi antenna lebih terarah.
3. Terdapat perbedaan berupa pergeseran titik fokus sekitar 4 mm antara simulasi dan hasil pengukuran. Walaupun demikian, pola umum yang terbentuk tetap konsisten sehingga dapat dikatakan valid dalam mendukung konsep perancangan.
4. Efisiensi fokus hasil pengukuran berada pada kisaran 31%–68% dalam rentang frekuensi 22–24 GHz, dengan puncak efisiensi pada 23.5 GHz. Efisiensi yang tinggi menunjukkan korelasi langsung dengan kemampuan *metalens* dalam membentuk berkas yang lebih presisi. Faktor yang memengaruhi hasil ini antara lain ketelitian proses fabrikasi dan konfigurasi sistem pengukuran yang turut menyebabkan pergeseran frekuensi kerja maksimum.

5.2 Implikasi

Penelitian ini menunjukkan bahwa *metalens* berbasis *metasurface* berpotensi menjadi solusi alternatif untuk aplikasi antena frekuensi tinggi yang efisien, kompak, dan hemat daya. Kemampuan untuk memfokuskan gelombang dengan deviasi fokus kecil dan efisiensi fokus yang terukur membuka peluang penerapan dalam berbagai aplikasi frekuensi 24 GHz seperti pada sistem radar kendaraan, karena kemampuan ini memungkinkan antena menjadi lebih terarah berkat pembentukan *beam* elektromagnetik yang lebih tajam. Pergeseran frekuensi kerja menuju 23.5 GHz juga memberikan wawasan penting bahwa toleransi fabrikasi perlu dikendalikan agar kinerja maksimum tetap berada dalam rentang frekuensi yang diinginkan. Penelitian ini juga memberikan contoh pendekatan desain *metalens* yang mempertimbangkan keterbatasan produksi nasional, menjadikannya relevan untuk diterapkan dalam pengembangan teknologi antena berbasis sumber daya lokal.

5.3 Saran

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan awal dalam pengembangan antena *metalens* pasif untuk mendukung teknologi gelombang mikro generasi berikutnya. Sebagai harapan ke depan, riset-riset lanjutan di bidang ini diharapkan mampu menghadirkan desain yang lebih efisien dan aplikatif untuk sistem komunikasi atau radar masa depan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan karakterisasi pengukuran yang lebih menyeluruh, termasuk pengujian *gain*, efisiensi total, serta pemetaan pola radiasi dalam ruang tiga dimensi, agar performa *metalens* dapat dievaluasi secara lebih komprehensif. Sebagai solusi atas keterbatasan yang ditemukan, disarankan penelitian kedepannya menggunakan sistem pemindaian (*scanning*) dengan presisi lebih tinggi dan lingkungan terkontrol guna mengurangi pengaruh *noise* eksternal dalam pengukuran distribusi fase eksperimen. Selain itu, perlu dilakukan optimasi lanjutan terhadap struktur unit sel dan distribusi fase yang diterapkan, agar efisiensi fokus dapat ditingkatkan serta frekuensi kerja tetap terjaga pada target utama, yaitu 24 GHz.