

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Implementasi teknologi radar dalam otomotif berkembang secara signifikan sejak beberapa dekade terakhir dan menjadi komponen utama dalam ADAS [1]. Radar otomotif meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan efisiensi kendaraan otonom secara signifikan. Keunggulannya meliputi keandalan, akurasi tinggi, harga terjangkau, serta efektivitas dalam berbagai kondisi cuaca, sehingga menjadikannya solusi utama dalam ADAS [2]. Sebagai bagian dari sensor berbasis gelombang elektromagnetik [3], radar menawarkan keunggulan dibandingkan LiDAR dan kamera optik, sehingga menarik perhatian besar dari para peneliti [4]. LiDAR memang menawarkan resolusi tinggi, tetapi sensitif terhadap gangguan cuaca serta relatif mahal dan besar. Kamera optik unggul dalam identifikasi visual, namun sangat bergantung pada pencahayaan dan kurang andal dalam mengukur jarak serta kecepatan. Radar, di sisi lain, bekerja menggunakan gelombang radio yang lebih stabil terhadap kondisi lingkungan, serta memiliki kemampuan deteksi kecepatan dan jarak secara *real-time* dengan biaya yang lebih efisien [5]. Aplikasinya mencakup pendeteksian kendaraan serta rintangan di bagian depan, belakang dan samping jalan, pengukuran kecepatan terhadap permukaan jalan, analisis kondisi jalan seperti hujan dan es, serta peringatan dini terhadap potensi benturan [6].

ACC telah menjadi salah satu fitur utama dalam sistem radar otomotif, terutama pada kendaraan berbasis ADAS [7]. Seiring meningkatnya kebutuhan akan keselamatan dan efisiensi berkendara, teknologi ini berkembang dari cruise control konvensional menjadi sistem adaptif berbasis radar yang mampu mempertahankan kecepatan serta menyesuaikan jarak kendaraan secara otomatis tanpa intervensi pengemudi. Dengan meminimalkan penggunaan pedal akselerasi, terutama saat berkendara di jalan tol, ACC tidak hanya mengurangi beban kerja pengemudi tetapi juga meningkatkan keselamatan lalu lintas melalui deteksi jarak dan kecepatan kendaraan yang lebih akurat serta respons adaptif terhadap berbagai kondisi jalan [8]. Kondisi tersebut menuntut keberadaan komponen yang mampu mengelola transmisi dan penerimaan gelombang elektromagnetik secara efektif. Radar otomotif sendiri merupakan sistem terpadu yang mencakup antena, RF front-end, unit konversi dan pemrosesan sinyal, serta modul kendali [9][10]. Penelitian ini difokuskan pada antena sebagai komponen utama dalam proses deteksi berbasis gelombang radio secara presisi dan waktu-nyata. Kinerja antena ditentukan oleh *gain*, impedansi, lebar pita, dan jumlah kanal, yang secara langsung memengaruhi cakupan serta akurasi pemisahan objek dalam berbagai arah [11].

Keberhasilan sistem radar pada fitur ACC bergantung pada teknologi antena yang ekonomis dan dapat diproduksi secara massal [12]. Antena mikrostrip menjadi pilihan yang menonjol karena bentuknya yang ringkas, ringan, dan mudah diproduksi secara massal [13][14]. Namun, antena mikrostrip memiliki keterbatasan, di antaranya efisiensi daya rendah, *bandwidth* sempit, dan *gain* yang kecil [15]. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah penggunaan

konfigurasi *array*, yang mampu meningkatkan *gain*, mempersempit *beamwidth*, dan menurunkan *sidelobe*—tiga aspek krusial dalam sistem radar otomotif [16]. Namun, pada fitur ACC, *beamwidth* yang terlalu sempit dapat membatasi cakupan deteksi sehingga perlu dikendalikan. Hal ini karena *beamwidth* yang terlalu sempit dapat meningkatkan risiko sinyal keluar dari *mainlobe*, yang berpotensi menyebabkan kegagalan *tracking* [17]. Oleh karena itu, perancangan antena untuk ACC harus mempertimbangkan keseimbangan antara resolusi tinggi dan cakupan deteksi yang memadai, tanpa mengandalkan mekanisme pengendalian arah pancaran yang kompleks. Teknologi radar mmWave tetap menjadi solusi ideal karena kemampuannya menyediakan resolusi tinggi, waktu respons cepat, dan integrasi yang baik dengan sistem elektronik kendaraan modern [18].

Perkembangan radar mmWave dalam otomotif, juga dipengaruhi oleh regulasi spektrum frekuensi. Sejak Januari 2022, penggunaan pita *Ultra Wide Band* (UWB) 5 GHz pada frekuensi 24 GHz telah dihentikan, menyisakan pita *narrowband* 250 MHz (24,0–24,25 GHz) yang masih dapat digunakan tanpa lisensi untuk radar otomotif [19]. Pembatasan ini, bersama dengan tuntutan resolusi dan akurasi yang lebih tinggi, mendorong industri beralih ke radar 77 GHz. Dengan *bandwidth* hingga 4 GHz (76–81 GHz), radar 77 GHz menawarkan resolusi tinggi dan kinerja optimal dalam berbagai kondisi cuaca [20]. Meskipun demikian, radar 24 GHz, dengan biaya 50% lebih rendah dibandingkan radar 77 GHz, tetap andal untuk ACC berkat sudut pandang lebih luas pada jarak pendek, khususnya dalam skenario *cut-in* [21]. Selain lebih ekonomis dan mudah diproduksi karena tidak memerlukan presisi tinggi seperti radar 77 GHz [22], tipe ini tetap menjadi pilihan relevan bagi industri dengan keterbatasan manufaktur [23]. Kondisi ini mendorong optimalisasi desain antena mikrostrip guna memastikan kinerja optimal dalam ruang frekuensi yang terbatas. Berbagai penelitian, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.1, telah mengusulkan pendekatan inovatif dengan mempertimbangkan aspek desain seperti frekuensi resonansi, jenis antena, material substrat, sudut radiasi, *gain*, atau *bandwidth*. Meskipun fokus aplikasi bervariasi, prinsip desain yang diterapkan tetap relevan untuk meningkatkan performa radar otomotif, khususnya pada fungsi ACC.

Tabel 1.1 Perbandingan Antar Penelitian Sebelumnya

Referensi	Array Factor	Bahan Substrat	Bahan Patch dan Groud	Frek. (GHz)	Teknik Modifikasi	G (dBi)	θ (°)	Dimensi (mm ²)
[24]	1×16	RO4003	-		<i>Straight Array, Tapered Array, Series-fed Phase Shifter, Modified Feed Line</i>	14,43	20	104×7
[25]	4×4	RT/Duroid 5880	Copper	24	<i>Shape, Coaxial Feed, Inter-quadrant spacing of $\lambda/3$ Phase Shifter, Modified</i>	16,7	14,6	32×32
[26]	10×10	Polyimide	Chromium		<i>Feed Line Shape, Coaxial Feed, Inter-quadrant spacing of $\lambda/2$</i>	29,4	19,5	90×90

Berdasarkan Tabel 1.1, berbagai desain antena mikrostrip *array* telah dikembangkan dengan konfigurasi dan substrat yang beragam. Sebagian besar menggunakan substrat berperforma tinggi namun tidak ekonomis untuk produksi massal. Penelitian ini membandingkan desain antena pada frekuensi 24 GHz menggunakan dua substrat yang umum tersedia, yaitu FR4 dan RT/Duroid 5880. Teknik *inset feed*, *truncated corner*, dan *corporate feed* digunakan untuk mengoptimalkan kinerja *patch array*. Evaluasi hasil rancangan tidak hanya dilakukan dengan membandingkannya terhadap penelitian terdahulu, tetapi juga terhadap spesifikasi antena dari beberapa produk komersial yang bekerja pada frekuensi 24 GHz. Kajian ini disusun sebagai langkah awal untuk melihat sejauh mana kedua substrat tersebut, dengan model desain yang dirumuskan, berpotensi memenuhi kebutuhan fungsional fungsi ACC pada sistem radar otomotif.

1.2 Rumusan Masalah

Perkembangan sistem radar otomotif menuntut kinerja antena yang semakin baik, khususnya dalam mendukung fitur ACC. Dalam konteks ini, antena mikrostrip *patch array* menjadi salah satu solusi yang banyak dikembangkan karena bentuknya yang kompak dan kemudahan integrasinya. Namun, pemilihan material substrat dan teknik desain antena sangat berpengaruh terhadap performa yang dihasilkan. Berdasarkan latar belakang tersebut, adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substrat FR4 dan RT/Duroid 5880 terhadap kinerja antena mikrostrip *patch array* pada frekuensi 24 GHz?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi desain *inset feed*, *truncated corner*, dan *corporate feed* terhadap kinerja antena?
3. Bagaimana hasil rancangan dibandingkan dengan spesifikasi penelitian sebelumnya dan produk komersial? dan
4. Bagaimana kemampuan hasil rancangan yang dirancang dalam memenuhi kebutuhan performa untuk fitur ACC?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Merancang antena mikrostrip *patch array* yang beroperasi pada frekuensi 24 GHz untuk mendukung fitur ACC,
2. Menganalisis pengaruh substrat FR4 dan RT/*Duroid* 5880 terhadap kinerja antena,
3. Mengevaluasi pengaruh teknik modifikasi yang dipakai terhadap kinerja antena,
4. Membandingkan hasil rancangan dengan penelitian sebelumnya dan produk komersial, dan
5. Menilai kesesuaian rancangan dengan kebutuhan performa fitur ACC.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini ditetapkan agar ruang lingkup tetap terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Adapun batasan tersebut meliputi:

- Jenis antena yang dipakai adalah mikrostrip *patch array*,
- Fokus perancangan dan analisis ditujukan untuk mendukung fitur ACC,
- Perancangan, simulasi, dan analisis dilakukan dengan fitur HFSS,
- Analisis kinerja antena mencakup frekuensi, return loss, VSWR, *gain*, serta *beamwidth*,
- *Patch* antena mikrostrip dirancang berbentuk persegi panjang,
- Konfigurasi *patch* pada *array* yang digunakan adalah 2×2 dan 4×4 ,
- Material substrat yang digunakan terbatas pada dua jenis saja, yakni FR4 dan RT/*Duroid* 5880, dan
- Penelitian ini tidak mencakup proses fabrikasi antena maupun pengujian eksperimental di laboratorium.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan dasar antena mikrostrip untuk sistem radar otomotif, khususnya dalam fungsi ACC. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi rujukan awal bagi perancang antena dalam memilih material substrat dan teknik modifikasi yang tepat, serta memberikan gambaran teknis yang berguna dalam proses simulasi dan pengujian antena pada frekuensi 24 GHz. Selain itu, penelitian ini juga dapat memperkaya literatur terkait pengembangan antena untuk radar otomotif berbasis simulasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan TA ini, penulis menyelesaikan laporan dalam lima bab yang disusun dengan sistematika sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan: Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan,
- Bab II Tinjauan Pustaka: Bab ini membahas teori penunjang penelitian, meliputi radar otomotif dan pengembangan *cruise control* secara umum, hingga dasar antena mikrostrip beserta teknik peningkatan yang digunakan,
- Bab III Metodologi: Bab ini menguraikan prosedur penelitian, spesifikasi yang ingin dicapai, beserta desain antena sebelum dan sesudah dimodifikasi, metode evaluasi kinerja, pengaturan simulasi pada perangkat lunak, dan jadwal penelitian,
- Bab IV Hasil dan Analisa: Bab ini menyajikan hasil simulasi dari seluruh desain antena yang dirancang menggunakan perangkat lunak, serta analisis terhadap hasil yang diperoleh,
- Bab V Penutup: Bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran bagi penelitian selanjutnya dalam topik yang sama.

