

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi 5G telah melalui proses standardisasi global, di mana pita frekuensi menengah 5G NR Band n78 ditetapkan sebagai spektrum operasional. Penetapan pita ini didasarkan pada parameter area jangkauan fisik dan kapasitas transmisi data [1]. Sebagai *new radio-access technology*, 5G NR mengimplementasikan arsitektur radio yang mensyaratkan komponen antenna untuk mendukung peningkatan laju transmisi data dan meminimalkan latensi jaringan [2]. Oleh karena itu, perancangan perangkat antenna ditujukan untuk memenuhi spesifikasi struktural dan teknis 5G guna mendukung interoperabilitas frekuensi pada berbagai aplikasi perangkat pintar [3].

Antena mikrostrip rectangular patch dipilih sebagai solusi yang sesuai untuk perangkat modern karena memiliki profil rendah, ringan, biaya fabrikasi murah, serta kompatibilitas yang tinggi dengan teknologi *Printed Circuit Board* (PCB) [4], [5]. Keterbatasan lebar *bandwidth* ini menjadi hambatan utama dalam implementasi antenna mikrostrip untuk aplikasi 5G NR Band n78 [1]. Spesifikasi teknis untuk operasi 5G NR pada pita menengah mensyaratkan kemampuan antenna untuk mengakomodasi lebar spektrum yang memadai guna mendukung kelancaran *throughput* data tinggi. Dalam penelitian ini ditetapkan target *bandwidth* impedansi minimum ≥ 500 MHz. Selain kriteria lebar pita tersebut, rentang frekuensi hasil desain juga dievaluasi terhadap target area 3,3–3,8 GHz.

Pemilihan substrat FR-4 dalam proses fabrikasi antenna mikrostrip didasarkan pada parameter efisiensi biaya produksi dan ketersediaan material [4], [6]. Namun, material FR-4 memiliki nilai konstanta dielektrik relatif dan kerugian dielektrik yang membatasi kinerja propagasi pada rentang frekuensi mikrogelombang [4], [7]. Parameter konstanta dielektrik sebesar $\epsilon_r = 4,4$ mengakibatkan konsentrasi medan elektromagnetik di dalam substrat dan mereduksi radiasi *fringing*, yang secara fisik berdampak pada penyusutan nilai *bandwidth* serta reduksi tingkat efisiensi radiasi antenna [4]. Selain itu, sebagian energi bersirkulasi dalam bentuk gelombang permukaan yang merambat secara lateral di sepanjang bidang substrat, yang berkontribusi terhadap penurunan parameter efisiensi radiasi antenna [8], [9].

Berbagai teknik modifikasi struktural diterapkan untuk memperlebar *bandwidth* impedansi pada antenna mikrostrip. Salah satu metode modifikasi pada elemen peradiasi adalah teknik pemotongan sudut *patch*. Katuru et al. [10] melaporkan bahwa penerapan *corner defected* pada antenna mikrostrip *rectangular*

patch membentuk karakteristik multi-resonansi yang menghasilkan respons *ultra-wideband* (UWB).

Selain modifikasi pada elemen *patch*, rekayasa geometri pada *ground plane* diterapkan untuk mengubah parameter kinerja antenna. Salah satu metode yang digunakan adalah *Defected Ground Structure* (DGS), yang diimplementasikan melalui perubahan bentuk struktur pada *ground* konvensional [6], [11]. Implementasi DGS pada substrat FR-4 menghasilkan penurunan rasio *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) serta mengubah nilai *return loss* dan parameter *gain* [6], [11]. Penelitian oleh Liu et al. [12] Implementasi DGS pada substrat FR-4 menghasilkan penurunan rasio *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) serta mengubah nilai *return loss* dan parameter *gain*. Penelitian oleh Nafi et al. [13] melaporkan bahwa integrasi struktur DGS pada antenna *theta-shaped slotted patch* untuk aplikasi komunikasi 5G sub-6 GHz menghasilkan perluasan *bandwidth* pada pita n77/n79. Kajian literatur [14] mencatatkan penggunaan DGS sebagai metode perluasan pita impedansi pada antenna *microstrip patch* 5G. Secara kuantitatif, penelitian [15] mengukur terjadinya penambahan nilai *bandwidth* dan *gain* melalui penerapan DGS pada frekuensi operasional 5,8 GHz.

Meskipun teknik *corner truncation* dan *frame ground* telah terbukti efektif secara individual dalam meningkatkan performa antenna mikrostrip, penelitian yang menggabungkan kedua teknik ini secara simultan untuk aplikasi spesifik 5G NR Band n78 pada substrat FR-4 masih terbatas. Keterbatasan tersebut menjadi semakin relevan mengingat tren penelitian mutakhir yang cenderung mengarah pada solusi dengan tingkat kompleksitas tinggi. Sebagai contoh, Bouchouicha et al. [16] telah mengusulkan arsitektur antenna UWB *multiple-input multiple-output* (MIMO) dengan integrasi *complementary split-ring resonator* (CSRR) dan *split-ring resonator* (SRR) untuk mitigasi interferensi pada rentang 3–9 GHz. Meskipun mencapai kinerja penolakan pita (*notching*) yang baik, pendekatan tersebut mengandalkan geometri monopole heksagonal dan struktur metamaterial yang secara inheren meningkatkan kompleksitas desain serta fabrikasi. Fokusnya pada penolakan pita frekuensi di rentang 3,4–3,7 GHz dan 5,8–7,2 GHz mengakibatkan kebutuhan peningkatan *bandwidth* secara kontinu pada pita n78 tidak mengakomodasi, tapi justru menghilangkan sebagian spektrum yang tumpang-tindih dengan layanan satelit. Di sisi lain, penelitian sebelumnya yang berfokus pada peningkatan *bandwidth* umumnya hanya menerapkan satu teknik—baik hanya modifikasi geometri *patch* [10] maupun hanya modifikasi *ground plane* [11], [12], [13], [14], [15] atau menggunakan substrat dengan konstanta dielektrik rendah yang tidak ekonomis untuk produksi massal [6], [13]. Oleh karena itu, terdapat *research gap* mengenai pengaruh kombinasi *corner truncation* dan *frame ground* dalam merancang antenna mikrostrip *rectangular patch* yang memenuhi kriteria desain yang ditetapkan, berbiaya rendah,

dan mudah direalisasikan pada substrat FR-4 untuk perangkat telekomunikasi 5G NR Band n78.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang antenna mikrostrip *rectangular patch* berbasis substrat FR-4 dengan menerapkan kombinasi teknik *corner truncation* pada *patch* dan *frame ground* pada *ground plane*. Melalui tahapan perhitungan analitik, simulasi elektromagnetik menggunakan *CST Studio Suite 2024*, serta validasi eksperimental menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), diharapkan diperoleh desain antenna yang mampu beroperasi pada pita 5G NR Band n78 dengan *bandwidth* minimal 500 MHz, $S_{11} \leq -10$ dB, $VSWR \leq 2$, dan karakteristik *gain* yang kompetitif, sehingga dapat menjadi solusi antenna pita lebar yang ekonomis dan mudah difabrikasi untuk perangkat telekomunikasi 5G NR n78.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang antenna mikrostrip *rectangular patch* berbasis substrat FR-4 yang mampu bekerja pada pita frekuensi menengah 5G NR Band n78?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi geometri patch berupa teknik pemotongan sudut terhadap karakteristik frekuensi resonansi dan lebar *bandwidth* antenna?
3. Bagaimana pengaruh penerapan teknik *frame ground* pada bidang *ground plane* terhadap pelebaran *bandwidth* antenna agar dapat mencapai target *bandwidth* 500 MHz?
4. Bagaimana karakteristik akhir antenna yang dihasilkan ditinjau dari parameter-parameter utama meliputi *return loss*, $VSWR$ dan *bandwidth*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, penelitian tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan antenna mikrostrip *rectangular patch* berbasis substrat FR-4 yang dapat beroperasi pada pita frekuensi menengah 5G NR Band n78.
2. Menganalisis pengaruh dari modifikasi geometri patch menggunakan teknik pemotongan sudut (*corner truncation*) terhadap karakteristik frekuensi resonansi dan lebar *bandwidth* antenna.
3. Mengevaluasi pengaruh penerapan teknik *frame ground* pada bidang *ground plane* terhadap pelebaran *bandwidth* antenna untuk mencapai target *bandwidth* ≥ 500 MHz.

4. Menguji dan mengidentifikasi karakteristik akhir antenna yang dihasilkan ditinjau dari parameter-parameter utama, yaitu *return loss*, VSWR, dan *bandwidth*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sesuai dengan ruang lingkup yang telah ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut:

1. Perancangan dan optimasi antenna difokuskan untuk beroperasi pada pita frekuensi menengah 5G NR Band n78 dengan rentang frekuensi kerja dari 3,3 GHz hingga 3,8 GHz dan frekuensi resonansi tengah di sekitar 3,5 GHz.
2. Teknik modifikasi yang diterapkan dibatasi pada teknik pemotongan sudut patch dan penerapan metode *frame ground* pada *ground plane*, tanpa menggunakan teknik peningkatan performa lainnya seperti *Electromagnetic Bandgap* (EBG), metamaterial, maupun susunan antenna *array*.
3. Penelitian ini meliputi tahapan perhitungan dimensi analitik awal, pemodelan dan simulasi elektromagnetik menggunakan perangkat lunak *CST Studio Suite* 2024, fabrikasi prototipe antenna dengan metode PCB, serta pengujian eksperimental parameter impedansi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).
4. Pengujian dan evaluasi hasil pengukuran dibatasi pada karakteristik parameter S_{11} , VSWR, dan *bandwidth*. Pengujian pola radiasi dan *gain* secara eksperimental menggunakan ruang anekoik, pengujian antenna MIMO, integrasi dengan perangkat aktif, maupun pengujian propagasi pada jaringan telekomunikasi nyata tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dan antenna desain dalam pengembangan teknologi antenna mikrostrip pita lebar untuk aplikasi jaringan 5G NR Band n78 melalui penerapan kombinasi teknik pemotongan sudut *patch* dan modifikasi *frame ground* pada substrat FR-4 yang ekonomis.
2. Menyediakan informasi ilmiah terperinci mengenai pengaruh dari masing-masing teknik modifikasi pemotongan sudut dan *frame ground* terhadap parameter-parameter performa antenna mikrostrip.
3. Menghasilkan antenna mikrostrip kompak yang memiliki performa lebar pita 500 MHz yang stabil dan memenuhi kriteria kelayakan untuk dapat direalisasikan dalam antenna perangkat telekomunikasi 5G.
4. Menyediakan data validasi yang valid mengenai tingkat kesesuaian antara model teoretis/simulasi *CST Studio Suite* dengan hasil pengukuran antenna fisik menggunakan VNA.

5. Memberikan solusi perancangan antenna yang sederhana, murah, dan mudah difabrikasi menggunakan metode PCB konvensional tanpa harus mengandalkan teknik pabrikasi atau struktur antenna yang terlalu kompleks.

Meningkatkan keahlian praktis dan kemampuan penulis dalam memodelkan, mensimulasikan, menganalisis, memfabrikasi, serta mengevaluasi kinerja antenna mikrostrip secara antenna maupun eksperimental.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan dari tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori dasar yang mendukung dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan dan langkah-langkah mengenai penelitian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data dan analisis dari penelitian.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang dilakuk



