

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Branch-line coupler atau *quadrature hybrid coupler* adalah komponen pasif *Radio Frequency* (RF) yang membagi atau menggabungkan daya sinyal dengan beda fase 90° pada keluarannya [1]. Komponen ini banyak digunakan pada sistem komunikasi nirkabel modern, khususnya pada *balanced amplifier*, *balanced mixer*, dan jaringan *beamforming* pada antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) yang menjadi tulang punggung teknologi *Fifth Generation* (5G) [1]. Teknologi 5G hadir sebagai generasi kelima sistem komunikasi seluler yang menawarkan kecepatan data hingga 20 Gbps, latensi rendah, dan kapasitas jaringan yang jauh lebih besar dibandingkan 4G LTE [2]. Untuk mencapai performa tersebut, 5G memanfaatkan spektrum frekuensi pada tiga lapisan, yaitu *low band*, *mid band*, dan *high band*. Khususnya pada lapisan *mid band* di rentang 1,8–2,7 GHz, terdapat beberapa pita 5G *New Radio* (NR) yang aktif digunakan operator seluler di Indonesia, antara lain N3 (1,8 GHz), N1 (2,1 GHz), N40 (2,3 GHz), N38 (2,6 GHz), dan N41 (2,6 GHz) [2]. Pita-pita ini menjadi prioritas pengembangan infrastruktur 5G nasional, termasuk target Telkomsel untuk menjangkau 107 kota dengan layanan 5G pada 2026 [3] dan rencana lelang frekuensi 2,6 GHz oleh Pemerintah melalui Komdigi pada tahun yang sama [36].

Penerapan teknologi 5G *mid band* yang mencakup beberapa pita frekuensi secara bersamaan menuntut komponen RF pendukungnya, termasuk *hybrid coupler*, untuk mampu bekerja di seluruh rentang tersebut dalam satu desain yang terintegrasi. Pada sistem *beamforming* antena MIMO, *hybrid coupler* berfungsi membagi sinyal ke beberapa elemen antena dengan keseimbangan fase 90° yang presisi [1]. Agar satu rancangan *coupler* ditargetkan dapat mencakup rentang frekuensi yang relevan dengan pita N3, N1, N40, N38, dan N41, diperlukan *impedance bandwidth* absolut minimal sebesar 900 MHz, yaitu selisih antara batas atas 2,7 GHz dan batas bawah 1,8 GHz dari rentang frekuensi target penelitian. Penggunaan satu rancangan *coupler* dengan rentang kerja yang mencakup frekuensi target 1,8–2,7 GHz berpotensi menyederhanakan arsitektur *front-end* RF, mengurangi kebutuhan komponen terpisah pada beberapa rentang frekuensi, serta menurunkan kompleksitas integrasi perangkat keras [19]. Namun, *coupler* konvensional berbasis saluran seperempat panjang gelombang umumnya memiliki *bandwidth* yang relatif sempit. Pada penelitian ini, rancangan konvensional menghasilkan *impedance bandwidth* sebesar 761 MHz, sehingga masih berada 139 MHz di bawah target 900 MHz yang ditetapkan untuk mencakup rentang frekuensi penelitian.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan performa *hybrid coupler* melalui berbagai modifikasi bentuk dan teknik desain, dengan tujuan meningkatkan kinerja *coupler* pada beragam alokasi frekuensi. Penambahan *N-section impedance transformer* dapat memperlebar *bandwidth*. Namun,

konfigurasi *three-section* membutuhkan impedansi di atas $400\ \Omega$ yang sulit difabrikasi [5], sedangkan konfigurasi *two-section* masih dapat direalisasikan dengan impedansi di bawah $100\ \Omega$ [6]. Peningkatan jumlah *section* juga dapat menyebabkan struktur menjadi lebih kompleks dan meningkatkan tantangan fabrikasi [7]. Metode lain menggunakan saluran mikrostrip dua lapis yang mampu mencapai *bandwidth* relatif 73,9% [4], namun membutuhkan dua lapis substrat sehingga proses fabrikasinya lebih rumit. Penelitian [5] merancang *hybrid coupler* berbentuk *compact* yang bekerja pada frekuensi tengah 1,8 GHz menggunakan substrat FR4 Epoxy, memperoleh *reflection loss* sebesar -22,5 dB, *isolation loss* -27,2 dB, dan *phase coupling* $88,9^\circ$. Sementara itu, penelitian [6] mengembangkan dua varian bentuk *coupler*, yaitu *meandered* dan spiral, yang bekerja pada rentang 1,8-3,6 GHz menggunakan substrat (ZrSn) TiO₄. Varian *meandered* menghasilkan *return loss* di bawah -15 dB, *insertion loss* -4,5 dB, dan *phase coupling* $93\pm 2^\circ$, sedangkan varian spiral menghasilkan *return loss* di bawah -15 dB, *insertion loss* -3,8 dB, dan *phase coupling* $90\pm 2^\circ$.

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai metode modifikasi *rat-race coupler* untuk memperoleh ukuran yang lebih kompak dan *bandwidth* yang lebih lebar. Smolarz *et al.* menggantikan bagian saluran 270° pada *rat-race coupler* konvensional dengan *shorted coupled-line section* untuk mengurangi ukuran rangkaian. Pengembangan lebih lanjut dilakukan dengan menambahkan *coupled-line matching sections* untuk meningkatkan *operational bandwidth* [8]. Selain itu, penggunaan *short-circuited quarter-wave stubs* juga diterapkan pada rangkaian *balanced mixer* untuk mengendalikan karakteristik impedansi pada frekuensi kerja dan meningkatkan isolasi antar-*port* [9]. Kumar *et al.* [10] mengembangkan *two-section branch-line coupler* menggunakan beberapa teknik saluran transmisi dan memperoleh *return loss bandwidth* sebesar 44,4% pada frekuensi tengah 0,9 GHz, sekaligus menghasilkan reduksi ukuran sebesar 76,3%. Adapun pada pendekatan miniaturisasi, digunakan teknik Koch fractal yang berhasil memperkecil dimensi *coupler* dari 1297,24 mm² menjadi 1204,68 mm², sekaligus meningkatkan *bandwidth* sebesar 17,1% dibanding rancangan konvensional. Pendekatan modifikasi bentuk menjadi multi-bagian (*multi-section*) untuk memperoleh karakteristik pita lebar juga diterapkan pada penelitian [11].

Selain performa *bandwidth*, sejumlah penelitian terdahulu juga melaporkan adanya deviasi antara hasil simulasi dan hasil pengukuran pada komponen *hybrid coupler* berbasis mikrostrip. Penelitian [5] menyebutkan bahwa deviasi tersebut umumnya disebabkan oleh toleransi fabrikasi, variasi konstanta dielektrik substrat, rugi-rugi konektor, serta ketidaksempurnaan pada susunan alat ukur. Hal serupa juga dilaporkan pada penelitian [9], yang secara lebih rinci menyebutkan bahwa deviasi dapat bersumber dari variasi ketebalan substrat, lebar konduktor, dan akurasi proses *etching* saat fabrikasi, rugi-rugi pada konektor dan proses penyolderan, ketidakakuratan kalibrasi *Vector Network Analyzer* (VNA), serta faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan saat pengukuran. Kondisi ini

menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil simulasi dan hasil fabrikasi merupakan hal yang umum dijumpai pada perancangan komponen *microstrip*, sehingga perlu diantisipasi sejak tahap perancangan hingga proses fabrikasi.

Mengacu pada penelitian [9], [10], dan [11], tugas akhir ini merancang *quadrature hybrid coupler* dengan beda fase 90° yang bekerja pada rentang frekuensi 1,8 – 2,7 GHz, menggunakan substrat *Flame Retardant 4 (FR4) Epoxy* berkonstanta dielektrik 4,4 dan ketebalan 1,6 mm. Perancangan dilakukan dengan saluran mikrostrip, yang meski umum digunakan, memiliki kelemahan berupa *bandwidth* yang cenderung sempit, untuk mengatasi hal ini, rancangan konvensional dimodifikasi menjadi bentuk *two-section* guna memperlebar *bandwidth* yang dihasilkan. Sebagai pembandingan, simulasi juga dilakukan terhadap rancangan *hybrid coupler* konvensional, sehingga peningkatan kinerja dari modifikasi *two-section* dapat dievaluasi secara langsung. Seluruh proses perancangan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computer Simulation Technology (CST) Studio Suite 2019* yang nantinya akan dilanjutkan ke tahap fabrikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini, terdapat rumusan masalah yang akan diteliti di antaranya yaitu:

1. Bagaimana merancang *coupler* mikrostrip konvensional dan *coupler* dengan modifikasi bentuk *two-section* yang bekerja pada rentang frekuensi 1,8–2,7 GHz, serta bagaimana kinerja S-parameter, *phase coupling*, dan *bandwidth* dari kedua rancangan tersebut?
2. Bagaimana kinerja rancangan *coupler two-section* setelah difabrikasi dan diukur, serta apakah hasil pengukuran tersebut berada dalam batas toleransi spesifikasi yang telah ditetapkan dan mendekati hasil simulasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk merancang *coupler* mikrostrip konvensional dan *coupler* dengan modifikasi bentuk *two-section* yang bekerja pada rentang frekuensi 1,8 – 2,7 GHz, serta menganalisis kinerja *S-parameter*, *phase coupling*, dan *bandwidth* dari kedua rancangan tersebut. Selain itu, tugas akhir ini juga bertujuan untuk memfabrikasi rancangan *coupler two-section*, serta mengukur dan menganalisis kinerjanya untuk mengetahui apakah hasil fabrikasi berada dalam batas toleransi spesifikasi yang telah ditetapkan dan mendekati hasil simulasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah rancangan *coupler* mikrostrip dengan modifikasi bentuk *two-section* yang dihasilkan dapat menjadi referensi awal dalam pengembangan *coupler* berbandwidth lebar pada rentang frekuensi 1,8 – 2,7 GHz, khususnya terkait potensi peningkatan *bandwidth* melalui pendekatan *two-*

section, serta dapat menjadi dasar pertimbangan bagi penelitian selanjutnya dalam mendukung pengembangan infrastruktur komunikasi seluler di Indonesia.

1.5 Batasan Masalah

1. Perancangan *coupler* mikrostrip dibatasi pada metode modifikasi bentuk *two-section* dan menggunakan substrat FR-4 Epoxy, tanpa membandingkan dengan metode atau substrat lain.
2. Fabrikasi dan pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) hanya dilakukan pada rancangan *coupler two-section*, sedangkan rancangan *coupler* konvensional hanya dievaluasi melalui perhitungan dan simulasi.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut.

BAB I	PENDAHULUAN
	Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penyusunan laporan.
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA
	Bab ini berisi mengenai teori-teori dasar sebagai pendukung dalam penelitian yang dilakukan.
BAB III	METODE PENELITIAN
	Bab ini membahas tentang langkah-langkah penyelesaian penelitian dan penjelasan metode yang digunakan dalam penelitian.
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS
	Bab ini membahas hasil penyelesaian masalah dan analisis dari hasil penelitian yang didapatkan.
BAB V	PENUTUP
	Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil dan analisis data serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.