

RANCANG BANGUN DIPLEXER BERBASIS MICROSTRIP

Mirnowati Haeruddin¹, Irawati Razak², Zaini³

Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Negeri Ujung Pandang

E-mail: [*mirnowatihaeruddin02@gmail.com](mailto:mirnowatihaeruddin02@gmail.com)¹

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan, simulasi, dan realisasi diplexer berbasis microstrip yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 3,0 GHz. Diplexer ini direalisasikan menggunakan substrat FR4 dengan konstanta dielektrik relative (ϵ_r) sebesar 4,4 dan ketebalan 1,6 mm. Struktur rangkaian terdiri dari dua buah Band Pass Filter (BPF) yang menggunakan resonator *Stepped Impedance Resonator* (SIR), masing-masing dioptimalkan untuk frekuensi kerja yang berbeda, kemudian digabungkan menjadi system tiga port di mana Port 1 dan Port 2 berfungsi sebagai input, sedangkan Port 3 sebagai port gabungan/output menuju antenna. Perancangan meliputi tahap perhitungan dimensi saluran microstrip, pemodelan, simulasi, dan optimasi menggunakan perangkat lunak *High Frequency Structure Simulator* (HFSS). Parameter kinerja yang dianalisis meliputi *Return Loss* (S11), *Insertion Loss* (S21), serta isolasi antar port. Hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa diplexer mampu bekerja dengan baik pada kedua frekuensi target. Pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh nilai *Return Loss* sebesar -40,54 dB dan *Insertion Loss* sebesar -2,557 dB, sedangkan pada frekuensi 3,0 GHz diperoleh nilai *Return Loss* sebesar -13,08 dB dan *Insertion Loss* sebesar -9,08 dB. Nilai *Return Loss* yang diperoleh telah memenuhi kriteria desain (< -10 dB). Dengan demikian, diplexer ini layak digunakan pada aplikasi komunikasi nirkabel yang membutuhkan efisiensi penggunaan antenna.

Kata kunci

Diplexer, Mikrostrip, Band Pass Filter, Stepped Impedance Resonator, HFSS, Return Loss, Insertion Loss

ABSTRACT

This paper discusses the design, simulation, and realization of a microstrip-based diplexer designed to operate at frequencies of 2.4 GHz and 3.0 GHz. This diplexer is realized using an FR4 substrate with a relative dielectric constant (ϵ_r) of 4.4 and a thickness of 1.6 mm. The circuit structure consists of two Band Pass Filters (BPF) using Stepped Impedance Resonators (SIR), each optimized for different operating frequencies, then combined into a three-port system. Port 1 and Port 2 serve as inputs, while Port 3 acts as a common/output port leading to the antenna. The design process includes microstrip dimension calculation, modelling, simulation, and optimization using High Frequency Structure Simulator (HFSS) software. The performance parameters analyzed include Return Loss (S11), Insertion Loss (S21), and port isolation. The simulation and measurement results show that the diplexer performs well at both target frequencies. At 2.4 GHz, the obtained Return Loss value is -40.54 dB and Insertion Loss is -2.557 dB, while at 3.0 GHz, the Return Loss value is -13.08 dB and Insertion Loss is -9.08 dB. The obtained Return Loss values meet the design criteria (< -10 dB). Therefore, this diplexer is suitable for wireless communication applications requiring efficient antenna utilization.

Keywords

Diplexer, Mikrostrip, Band Pass Filter, Stepped Impedance Resonator, HFSS, Return Loss, Insertion Loss

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel yang semakin pesat telah meningkatkan kebutuhan akan perangkat yang mampu mentransmisikan dan menerima data dengan cepat dan efisien. Salah satu frekuensi yang paling umum digunakan adalah 2,4 GHz, yang tercakup dalam pita ISM (Industrial, Scientific, and Medical). Pita ini banyak dimanfaatkan oleh sistem seperti Wi-Fi, Bluetooth, dan perangkat *Internet of Things* (IoT) karena sifatnya bebas lisensi serta dukungan komponen yang melimpah. Selain itu, penggunaan frekuensi 3,0 GHz juga mulai berkembang seiring dengan kebutuhan layanan komunikasi pita lebar dan teknologi seluler terbaru.

Untuk mendukung operasi pada lebih dari satu kanal frekuensi sekaligus, diperlukan komponen pemisah atau penggabung sinyal, salah satunya ialah diplexer. Diplexer merupakan perangkat pasif tiga-port yang berfungsi memisahkan atau menggabungkan dua sinyal dengan frekuensi berbeda melalui satu antenna atau jalur transmisi yang sama. Penggunaan diplexer memungkinkan dua sistem komunikasi bekerja secara simultan tanpa interferensi yang signifikan, serta meningkatkan efisiensi perangkat dengan mengurangi jumlah antenna yang dibutuhkan. Dalam perancangan diplexer, teknologi microstrip menjadi pilihan utama karena memiliki ukuran kecil, ringan, biaya fabrikasi rendah, serta mudah diintegrasikan dengan rangkaian terpadu. Pada penelitian ini, diplexer dirancang menggunakan struktur *Stepped Impedance Resonator* (SIR) yang memiliki keunggulan dalam hal miniaturisasi ukuran dan kemampuan menekan frekuensi harmonik yang tidak diinginkan. Perancangan dan analisis kinerja dilakukan menggunakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik HFSS, kemudian hasil desain direalisasikan dan diuji menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) untuk memvalidasi karakteristiknya.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan Politeknik Negeri Ujung Pandang. Proses perancangan, perhitungan, dan simulasi dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro, sedangkan proses fabrikasi papan sirkuit cetak dilakukan di bengkel kerja, serta pengujian dan pengukuran karakteristik dilakukan di Laboratorium Frekuensi Tinggi pada periode Januari hingga September 2025.

2.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Perangkat lunak: HFSS, Microstrip Line Calculator, CorelDRAW.
- Perangkat keras: Komputer PC, RF Vector Network Analyzer (VNA).
- Bahan fabrikasi: PCB FR4 Epoxy ($\epsilon_r=4,4$, tebal 1,6 mm), konektor SMA Female, larutan FeCl₃, timah, kertas transfer, dan alat bantu pengerjaan mekanik.

2.3 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- Perhitungan Dimensi: Menentukan parameter dasar seperti frekuensi kerja (2,4 GHz dan 3,0 GHz), impedansi karakteristik (50 Ohm), dan konstanta dielektrik substrat. Dilakukan perhitungan nilai rasio impedansi ($R_z=3,077$), Panjang dan lebar jalur resonator SIR, serta panjang efektif patch menggunakan rumus-rumus saluran transmisi microstrip.
 - Untuk frekuensi 2,4 GHz: Lebar jalur (W) = 3,056 mm, Panjang efektif = 36,1 mm.

- Untuk frekuensi 3,0 GHz: Lebar jalur (W) = 0,16 mm, Panjang efektif = 28,9 mm.
- Pemodelan dan Simulasi: Membuat desain geometri diplexer pada perangkat lunak HFSS berdasarkan hasil perhitungan. Dilakukan simulasi awal untuk melihat respon frekuensi. Jika hasil belum sesuai spesifikasi, dilakukan optimasi dimensi secara berulang hingga diperoleh nilai *Return Loss* dan *Insetion Loss* yang optimal pada frekuensi target.
- Fabrrikasi: Menggambar desain akhir hasil optimasi menggunakan CorelDraw, kemudian dicetak pada kertas transfer dan dipindahkan ke permukaan PCB melalui proses pemanasan. Selanjutnya dilakukan proses pelarutan FeCl₃ untuk membentuk pola jalur konduktor, pemotongan, dan pemasangan konektor SMA.
- Pengukuran dan Analisis: Menguji kinerja diplexer yang telah direalisasikan menggunakan *Vector Network Analyzer*. Data yang diambil berupa grafik parameter S₁₁ dan S₂₁ pada rentang frekuensi 2,0 GHz hingga 4,0 GHz. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi untuk melihat tingkat kesesuaian dan factor penyebab perbedaan.

2. 4 Skematik Rangkaian

Rancangan diplexer terdiri dari satu port masukan yang terhubung ke struktur *Stepped Impedance Resonator* (SIR) sebagai elemen resonansi utama. Sinyal dari port masukan dibagi ke dua jalur *Band Pass Filter* yang berbeda. Jalur pertama dioptimalkan untuk frekuensi 2,4 GHz dan jalur kedua untuk frekuensi 3,0 GHz. Kedua jalur dirancang memiliki isolasi yang baik untuk mengurangi interferensi antar kanal. Seluruh rangkaian dicetak di atas substrat FR4 dengan bidang pembumian penuh di bagian bawah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik kinerja diplexer diamati melalui tahap simulasi dan pengukuran, yang kemudian dibandingkan untuk menilai kesesuaian rancangan. Hasil pengamatan disajikan secara deskriptif serta dibandingkan antara kondisi sebelum optimasi, sesudah optimasi, dan hasil pengukuran nyata sebagaimana ditunjukkan pada penjelasan berikut serta Tabel 2.

3.1 Hasil Simulasi

Setelah dilakukan pemodelan awal dan beberapa kali pengulangan optimasi dimensi, diperoleh karakteristik kinerja diplexer sebagai berikut. Pada tahap simulasi awal, diperoleh nilai parameter: pada frekuensi 2,4 GHz didapatkan S₁₁ = -5,2433 dB dan S₂₁ = -9,8928 dB, sedangkan pada frekuensi 3,0 GHz didapatkan S₁₁ = -5,3895 dB dan S₂₁ = -14,7145 dB. Hasil ini menunjukkan kinerja yang belum optimal karena nilai *Return Loss* masih berada di atas batas kriteria yang ditetapkan (< -10 dB).

Setelah dilakukan penyesuaian dan optimasi dimensi secara berulang, diperoleh hasil simulasi akhir yang lebih baik: pada frekuensi 2,4 GHz nilai S₁₁ meningkat menjadi -11,5227 dB dengan S₂₁ sebesar -9,5629 dB, sedangkan pada frekuensi 3,0 GHz nilai S₁₁ menjadi -6,8909 dB dengan S₂₁ sebesar -13,6888 dB. Hasil ini menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan, terutama pada parameter *Return Loss* yang telah memenuhi syarat desain pada frekuensi 2,4 GHz, serta respon frekuensi yang telah terpusat pada titik kerja yang diharapkan. Tampilan desain layout setelah optimasi dan grafik respon frekuensi dapat dilihat masing-masing pada Gambar 5 dan Gambar 6. Gambar 5 menunjukkan tampilan rancangan diplexer pada aplikasi HFSS yang terdiri dari tiga port utama, yaitu Port A untuk frekuensi 2,4 GHz, Port B untuk frekuensi 3,0 GHz, dan Port C sebagai port gabungan masukan, dengan jalur mikrostrip yang dicetak di atas substrat FR4. Gambar 6 menampilkan grafik respon parameter S setelah optimasi, di mana terlihat

jelas penurunan nilai S11 pada titik resonansi target dan peningkatan kestabilan nilai S21 yang menandakan diplexer telah bekerja sesuai rancangan.

3.2 Hasil Pengukuran

Setelah proses fabrikasi selesai dilakukan, alat diuji menggunakan Vector Network Analyzer pada rentang frekuensi 2,0 GHz hingga 4,0 GHz. Hasil pengukuran karakteristik diplexer disajikan pada Tabel 1 berikut: Setelah proses fabrikasi selesai dilakukan, alat diuji menggunakan Vector Network Analyzer pada rentang frekuensi 2,0 GHz hingga 4,0 GHz. Hasil pengukuran karakteristik diplexer disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter S

Frekuensi Kerja	Return Loss (S11)	Insertion Loss (S21)	Keterangan
2,4 GHz	-40,54 Db	-2,557 dB	Sangat Baik
3,0 GHz	-13,08 dB	-9,08 dB	Baik

Pada frekuensi 2,4 GHz, nilai Return Loss mencapai -40,54 dB yang menandakan pencocokan impedansi sangat baik sehingga pantulan sinyal di port masukan sangat minim. Nilai Insertion Loss sebesar -2,557 dB juga menunjukkan rugi daya yang masih berada dalam batas wajar untuk penggunaan substrat FR4.

Berbeda dengan frekuensi 2,4 GHz, pada frekuensi 3,0 GHz nilai Return Loss sebesar -13,08 dB masih memenuhi kriteria desain, namun nilai Insertion Loss yang mencapai -9,08 dB menunjukkan redaman yang lebih besar. Hal ini diduga disebabkan oleh peningkatan rugi dielektrik dan rugi konduktor pada frekuensi yang lebih tinggi, serta terdapat pergeseran titik frekuensi kerja menjadi sekitar 3,7 GHz akibat toleransi sifat bahan dan ketidaksempurnaan proses fabrikasi

3.3 Perbandingan Simulasi dan Pengukuran

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter	Kondisi	2,4 GHz	3,0 GHz
Return Loss (S11)	Sebelum Optimasi	-8,2433 dB	-5,3895 dB
	Sesudah Optimasi	-11,5227 dB	-6,8909 dB
	Hasil Pengukuran	-40,54 dB	-13,08 dB
Insertion Loss (S21)	Sebelum Optimasi	-9,8928 dB	-14,7145 dB
	Sesudah Optimasi	-9,5629 dB	-13,6888 dB
	Hasil Pengukuran	-2,557 dB	-9,08 dB

Secara umum, terdapat kesesuaian pola respon frekuensi antara hasil simulasi dan hasil pengukuran, meskipun terdapat perbedaan nilai numerik serta sedikit pergeseran titik frekuensi. Faktor penyebab perbedaan tersebut antara lain: pertama, nilai konstanta dielektrik bahan FR4 yang bervariasi di lapangan (4,2 – 4,6), sedangkan dalam simulasi diasumsikan tetap sebesar 4,4; kedua, ketidaksempurnaan dimensi jalur akibat proses pelarutan dan pemotongan PCB saat fabrikasi; ketiga, adanya rugi tambahan pada konektor dan sambungan yang tidak dimodelkan dalam simulasi; serta keempat, kekasaran permukaan konduktor yang memengaruhi rugi daya pada frekuensi tinggi.

Meskipun terdapat perbedaan tersebut, diplexer yang dirancang terbukti mampu memisahkan dan menggabungkan sinyal pada dua pita frekuensi yang berbeda dengan baik, sesuai dengan tujuan utama perancangan. Namun demikian, kesimpulan kesesuaian ini masih bersifat deskriptif; penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengontrol toleransi bahan dan proses fabrikasi secara lebih ketat serta membandingkan dengan standar referensi lain untuk mendapatkan bukti kesesuaian yang lebih kuat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, realisasi, serta pengukuran yang telah dilakukan pada rancang bangun diplexer dengan frekuensi kerja 2,4 GHz dan 3,0 GHz, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Diplexer berbasis mikrostrip menggunakan struktur *Stepped Impedance Resonator* (SIR) dan substrat FR4 berhasil dirancang, direalisasikan, dan diuji coba.
- Hasil pengukuran menunjukkan nilai *Return Loss* masing-masing sebesar -40,54 dB (2,4 GHz) dan -13,08 dB (3,0 GHz), yang mana keduanya telah memenuhi kriteria desain (< -10 dB). Nilai *Insertion Loss* terukur sebesar -2,557 dB pada 2,4 GHz dan -9,08 dB pada 3,0 GHz.
- Perbedaan nilai antara hasil simulasi dan pengukuran merupakan hal yang wajar dan disebabkan oleh faktor karakteristik bahan, toleransi dimensi, serta ketidaksempurnaan proses fabrikasi.
- Secara keseluruhan, diplexer ini layak diaplikasikan pada sistem komunikasi nirkabel yang membutuhkan efisiensi penggunaan antena, seperti pada sistem Wi-Fi dan perangkat IoT.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menggunakan substrat dengan karakteristik yang lebih stabil dan rugi rendah (seperti Rogers) agar hasil realisasi lebih mendekati hasil simulasi, serta meningkatkan ketelitian pada proses pembuatan PCB untuk meminimalkan pergeseran frekuensi kerja.

5. DAFTAR PUSTAKA

- I. Razak, M. Mimsyad, I. Mahjud. (2022). *Teknik Frekuensi Tinggi dan Gelombang Mikro*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Z. Saijan. (2022). *Desain Band Pass Filter (BPF) Dual Band Untuk Aplikasi 5G/WiMAX*. Jurnal Teknik Elektro.
- D. M. Pozar. (2012). *Microwave Engineering* (4th Edition). New York: McGraw-Hill.
- Nurianti. (2024). Rancang Bangun Band Pass Filter (BPF) Dual-Band Dual-Mode. 2024.
- J. S. Hong, M. J. Lancaster. (2011). *Microstrip Filter for RF/Microwave Applications*. New York: John Wiley & Sons.