

OPTIMASI *FREQUENCY DIVISION DUPLEXING* PADA ANTENA *MASSIVE MIMO* BERBASIS TEKNOLOGI 5G

Irawati Razak¹, Abdullah Bazergan², Arni Litha³, Farchia Ulfiah⁴, Nur Faizah⁵, Nadia Anastasya⁶

^{1,2,3,4}Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

^{5,6}Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

The purpose of this study is to optimize FDD radio equipment by isolating the transmitter system port and receiving system port during the communication process between cellular users to support massive MIMO antenna of 5G technology. The research method is to design a duplexer device in the FDD system using hardware and software. The hardware uses a special PCB type FR4. While the software uses the Advance Design System to design the system and the Central Standard Time studio to simulate the design results. The result of this research is the duplexer device – Band Stop Filter (BSF) of order 7 and order 9. This duplexer device is able to isolate the transmitter system port – the receiving system port by an isolation value of -33.1 dB (for order 7) and -46.9 dB (for order 9) according to the measurement results. The superiority of insulation in FDD performance is indicated by the isolation value which is in the range of -60 dB to -20 dB.

Keywords: *FDD, Massive MIMO Antenna, 5G-Technology*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan perangkat radio FDD dengan mengisolasi *port* system pemancar dan *port* system penerima saat terjadinya proses komunikasi antar pengguna seluler untuk mendukung perangkat antenna *massive MIMO* pada teknologi 5G. Metode penelitian mendesain *duplexer device* dalam sistem FDD dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras menggunakan PCB khusus jenis FR4, sedangkan perangkat lunak menggunakan *Advance Design System* untuk mendesain sistem dan *Central Standar Time* studio untuk mensimulasikan hasil desain. Hasil penelitian adalah *duplexer device* – *Band Stop Filter* (BSF) orde 7 dan orde 9. *Duplexer device* ini mampu mengisolasi *port* system pemancar – *port* system penerima dengan nilai isolasi -33,1 dB (untuk orde 7) dan -46,9 dB (untuk orde 9) sesuai hasil pengukuran. Keunggulan isolasi pada performansi FDD ditandai dengan nilai isolasi yang berada dalam range -60 dB hingga -20 dB.

Kata Kunci: *FDD, Antena Massive MIMO, Teknologi 5G*

1. PENDAHULUAN

Teknologi nirkabel generasi kelima (5G) adalah inovasi baru dalam komunikasi seluler. Tujuan dari 5G adalah untuk menyediakan koneksi ke semua jenis perangkat dan aplikasi lainnya, termasuk komunikasi seluler, terutama kebutuhan untuk kecepatan data yang sangat tinggi, *great service, low latency*, dan *support high mobility* yang belum dapat terpenuhi oleh teknologi sebelumnya. Salah satu kriteria dari teknologi 5G ini yaitu mampu beradaptasi dengan jumlah *user* yang menggunakannya. Pada sistem seluler masa depan (5G) harus menyediakan kecepatan data mulai dari 5 Gbps hingga 50 Gbps. Bulan April 2017 pertama kalinya di Indonesia, Telkomsel dan Huawei melakukan uji coba teknologi 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Massive *Internet of Things* (IoT) dan teknologi *Frequency Division Duplexing* (FDD) *Massive Multiple-Input and Multiple-Output* (MIMO). Uji coba ini merupakan salah satu upaya Telkomsel untuk mengakselerasi terbentuknya ekosistem IoT, sekaligus menandai dimulainya persiapan menuju penerapan teknologi 5G di Indonesia [1].

Perangkat yang mendukung teknologi 5G adalah radio *Frequency Divion Duplexing* (FDD) yang terintegrasi dengan antenna *massive Multiple-input multiple-output* (MIMO). System transmisi FDD menggunakan dua kanal yang berbeda untuk mentransmisikan data dan menerima data. *Massive MIMO* memungkinkan pengiriman dan penerimaan pada lebih dari satu sinyal secara bersamaan melalui saluran radio yang sama. Jaringan MIMO pada umumnya menggunakan dua atau empat antena, misalnya MIMO 2x2, atau MIMO 4x4. Pada generasi seluler saat ini yakni 4G, sistem radio FDD diaplikasikan pada satu antena saja dengan kecepatan data yang diakses maksimum 50 gigabyte (GB). Sistem seluler 4G memiliki kapasitas data yang lebih sedikit dan kecepatan aksesnya masih jauh lebih lambat jika dibandingkan dengan inovasi teknologi seluler berikutnya yakni 5G. Teknologi 5G memiliki keunggulan dalam hal kecepatan akses yang tinggi dan

* Korespondensi penulis: Nama: Irawati Razak, email ira_razak@poliupg.ac.id

** Mahasiswa Diploma 4 (D4)

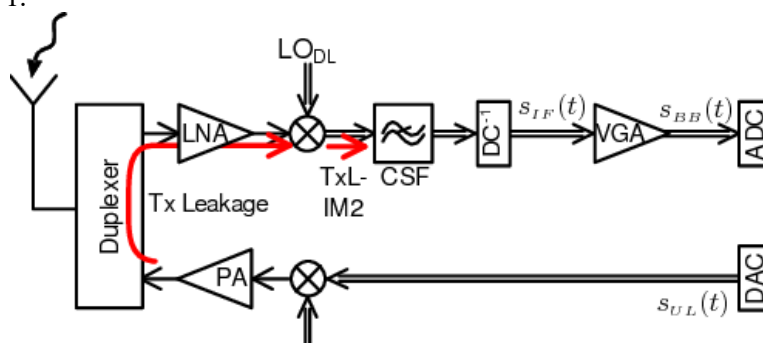
*** Mahasiswa Diploma 3 (D3)

transfer data hingga 20 terabyte (TB) dalam waktu beberapa detik saja. Untuk mencapai keunggulan teknologi terbaru 5G, sistem perangkat seluler harus diubah dan ditingkatkan secara menyeluruh.

Tujuan penelitian ini ialah mengoptimalkan perangkat radio FDD melalui perancangan *duplexer* yang mendukung perangkat antenna *massive* MIMO pada teknologi 5G. Optimasi kinerja system radio FDD untuk mengurangi bahkan mengeliminasi interferensi adalah mengisolasi *port* system pemancar dan *port* system penerima saat terjadinya proses komunikasi antar pengguna seluler dan saat terjadinya kepadatan trafik koneksi data. Salah satu *device* yang menunjang kinerja system radio FDD adalah *duplexer*. *Duplexer* memiliki karakteristik *insertion loss* rendah, stabilitas frekuensi dan *constant gain* saat proses pemisahan (*high isolation*) antara perangkat pemancar dan penerima.

Urgensi penelitian berfokus pada keunggulan system radio FDD beroperasi pada level daya minimum untuk mendukung kestabilan antenna *massive* MIMO yang mampu bekerja pada sinyal daya kecil. Antena MIMO merupakan salah satu jenis antena yang bekerja pada frekuensi tinggi dan memiliki ukuran yang kecil dan tipis sehingga cocok diterapkan pada sistem komunikasi seluler 5G. System FDD unggul dalam hal jumlah stasiun *Base Transceiver Station* (BTS) yang lebih sedikit, jangkauan sinyal lebih luas dan mampu mencapai BTS terjauh dengan batas level daya minimum. Hal ini mendukung teknologi MIMO yang dapat meningkatkan kekuatan sinyal saat memperoleh sinyal yang lemah dari BTS, meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi efek negatif gangguan *multipath*. MIMO juga dianggap sebagai kunci untuk mewujudkan komunikasi jaringan seluler teknologi 5G.

Sistem FDD mengimplementasikan dua kanal frekuensi yang berbeda untuk transmisi *uplink* dan *downlink*. Sistem FDD memungkinkan pertukaran informasi secara simultan dan meminimalisasi interferensi antara jalur transmisi *uplink* dan *downlink*. Interferensi adalah gangguan frekuensi akibat menggunakan kanal frekuensi yang berdekatan ataupun sama. Metode akses radio FDD melakukan transmisi dengan menempatkan *uplink* dan *downlink* pada band frekuensi yang terpisah dengan jarak antara *uplink* dan *downlink* adalah 100 MHz. Jarak antara *uplink* dan *downlink* dipisahkan oleh *guardband*. Blok diagram sistem radio FDD ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok *Frequency Division Duplexing*

Proses pemisahan frekuensi *uplink* dan frekuensi *downlink* menggunakan *duplexer device*. *Duplexer* merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengisolasi sistem penerima dari sistem pemancar dalam satu perangkat menggunakan satu antena yang sama. *Duplexer* yang ideal menghasilkan isolasi yang sempurna tanpa ada rugi-rugi dari dan ke antena.

Penelitian mengenai perancangan komponen/ *duplexer device* telah dilakukan dengan beragam metode. Target penelitiannya adalah karakteristik *duplexer* yang telah diuji memiliki rugi (*loss*) yang rendah, berukuran kecil (*micro*), performansi isolasi yang tinggi dan andal.

Desain *duplexer* menggunakan metode *on open circuit dual behavior resonator* (OC-DBR). Desain difabrikasi pada substrat RF60-0600 sesuai dengan frekuensi UMTS yakni 1,92 – 1,98 GHz *downlink* dan 2,11 – 2,17 GHz *uplink*. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *insertion loss* sebesar 1,6 dB dan *return loss* dibawah 10 dB. Keunggulan metode ini adalah mengontrol ratio impedansi OC-DBR untuk memperoleh *high isolation*. Keunggulan fabrikasi pada substrat yang berbeda juga menghasilkan nilai isolasi yang tinggi sebesar 15-20 dB. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan substrat RO587 dan alumina pada frekuensi 5,1 – 5,8 GHz yang berada dalam layanan aplikasi UMTS [2].

Selain menghasilkan nilai isolasi tinggi, fabrikasi *substrate integrated suspended line* (SISL) platform juga menghasilkan rugi-rugi rendah bernilai 1.26/1.21 dB pada frekuensi 0.8 and 2.5 GHz dan *deviation frequency* 1.7 GHz [3]. Instrumen *resonator* menjadi salah satu metode alternatif untuk menghasilkan rugi-rugi rendah [4]. Desain *duplexer* mengimplementasikan *coaxial cavity resonator* untuk mengisolasi dua band pada

frekuensi 2,73 GHz dan 2,83 GHz yang diterapkan pada *primary radar*.

Instrumen *grade hardware* mengkombinasikan metode pasif dan aktif untuk mencapai nilai isolasi sebesar 81,5 dB pada *bandwidth* 80 MHz [5]. Penelitian ini turut didukung oleh Algoritma *balancing EBD* (*Electrical Balance Duplexer*) yang menggunakan injeksi sinyal aktif agar pengisolasian dapat seimbang di *bandwidth* yang lebar.

Duplexer berbasis *monolithic microwave integrated circuit* bersifat aktif yang mengatur isolasi antar dua *port* secara elektronik bernilai 20 – 50 dB dan *gain* sebesar 5 dB dengan menala frekuensi 1,62 – 1,82 GHz. Hasil pengukuran *noise figure* bervariasi dari 1,77 hingga 2,44 dB. Daya yang dihasilkan juga bervariasi mulai dari 8,5 hingga 9,5 dB dan 20 hingga 29,5 dB [6].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah merancang bangun *duplexer device* dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras menggunakan PCB khusus jenis FR4. Sedangkan perangkat lunak menggunakan *Advance Design System* (ADS) untuk mendesain sistem dan *Central Standar Time* (CST) studio untuk mensimulasikan hasil desain. Inovasi yang akan diterapkan pada bahan dasar rancangan *duplexer* adalah bahan metamaterial yang memiliki sifat yang tidak tersedia di alam, yaitu material yang mengandung nilai permitivitas (ϵ) dan permibilitas (μ) negatif. Bahan metamaterial ini menghasilkan sistem rangkaian yang andal dan rugi-rugi rendah sehingga penggunaannya diharapkan dapat menurunkan koefisien gelombang pantul dan meningkatkan efisiensi transmisi dari *duplexer* yang dihasilkan serta dapat meningkatkan efisiensi baterai dan menjadikan perangkat semakin *compact*. Metamaterial merupakan teknik miniatur yang sesuai dengan kebutuhan komersial dan dapat diproduksi secara massal sehingga harga perangkat komunikasi dapat dijangkau di kalangan masyarakat luas.

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan prosedur: (a) menetapkan parameter komponen sistem FDD yang terdiri dari metode perancangan, frekuensi batas, dan material yang akan digunakan; (b) menghitung frekuensi kerja, ukuran dimensi PCB dan lebar strip; c) merancang *duplexer* dengan mengaplikasikan *Central Standard Time* (CST) *studio suite*; (d) menyimulasikan hasil perancangan dengan mengaplikasikan CST. (e). Setelah memperoleh nilai *loss* yang paling minimum pada frekuensi batas yang ditargetkan, lalu difabrikasi dengan menggunakan papan cetak microstrip jenis FR4; (f) menguji dan mengukur *duplexer* dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Duplexer device adalah *Band Stop Filter* (BSF) metode *L shaped* respon chebyshev orde 7 dan orde 9. Perancangan dimulai dengan menentukan frekuensi batas yang diinginkan yakni 3,7 GHz. Setelah itu, lebar dan panjang *device* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [7]. Untuk memperoleh lebar saluran resonator, digunakan persamaan:

$$A = \frac{Z_0}{60} \frac{\sqrt{\epsilon_r + 1}}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \dots\dots\dots (1)$$

Diketahui $Z_0 = 50 \Omega$ $\epsilon_r = 4,4$

$$A = \frac{50}{60} \frac{\sqrt{4,4+1}}{2} + \frac{4,4-1}{4,4+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,4} \right) = 1,5298619493$$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \dots\dots\dots (2)$$

$$W = 1,9118593644$$

$$w = \frac{W}{h} \cdot h \dots\dots\dots (3)$$

$$w = 1,9118593644 \times 1,6 = 3,058974893 \text{ mm.}$$

Ukuran mendapatkan anjang resonator, digunakan persamaan:

$$\lambda_g = \frac{300}{f(\text{GHz})\sqrt{\epsilon_{re}}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\lambda_g = \frac{300}{3,7\sqrt{4,4}} = 38,65389$$

$$\frac{1}{4} \cdot \lambda_g = 9.66347$$

Ukuran Jarak antara setiap resonator dan *main lane*. Untuk mendesain BSF, jarak antar elemen ditentukan oleh nilai reaktansi dari tiap elemen (n) sesuai dengan orde yang diinginkan. Nilai n pada Tabel 1 menunjukkan nilai tiap elemen *prototype lowpass chebyshev* orde 7 dan orde 9 untuk ripple 0.1 dB.

Tabel 1. Nilai Elemen *Prototype Lowpass Filter Chebyshev Ripple 0,1 dB*

n	g ₀	g ₁	g ₂	g ₃	g ₄	g ₅	g ₆	g ₇	g ₈	g ₉	g ₁₀
Orde 7	1.0	1.1812	1.4228	2.0967	1.5734	2.0967	1.4228	1.1812	1.0		
Orde 9	1.0	1.1957	1.4426	2.1346	1.6167	2.2054	1.6167	2.1346	1.4426	1,1957	1

Diketahui bahwa $Z_0 = 50 \Omega$ dan $\Omega_c = 1$

Maka:

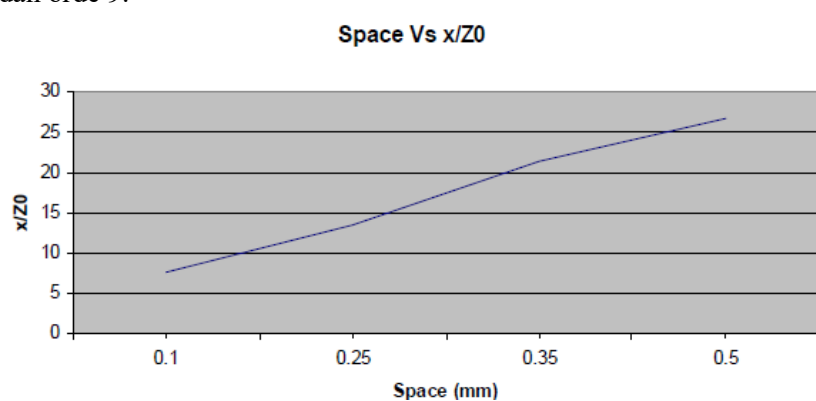
$$FBW = \frac{w_2 - w_1}{w_0} = \frac{3,8 - 3,6}{3,7} = 0,054$$

Untuk nilai x_n

$$x_n = Z_0 \frac{1}{g_0 g_{orde+1}} \frac{g_0}{g_n \Omega_c FBW} \dots\dots\dots(5)$$

$$x_1 = 50 \frac{1}{1 \times g_{9+1}} \frac{1}{1.1812 \times 1 \times 0,054}, \frac{x_1}{z_0} = 15.66711$$

Perhitungan dilanjutkan hingga x_7 . Untuk orde 9 dilakukan perhitungan dengan persamaan yang sama hingga memperoleh x_9 . Hasil perhitungan dibandingkan dengan kurva Gambar 2 untuk memperoleh ukuran desain BSF orde 7 dan orde 9.



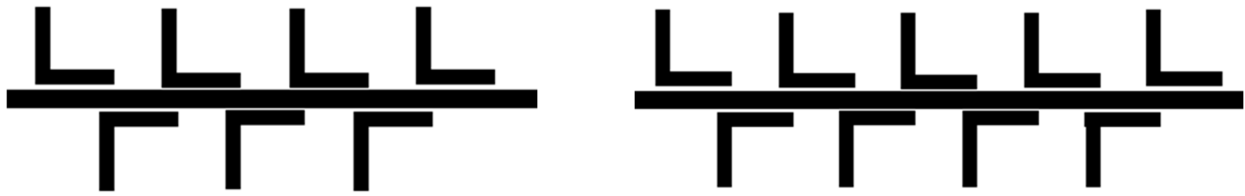
Gambar 2. Perbandingan kurva antara parameter kemiringan reaktansi dan jarak

Berdasarkan hasil perbandingan nilai reaktansi x_1 hingga x_7 untuk BSF orde 7 dan perbandingan nilai reaktansi x_1 hingga x_9 untuk BSF orde 9 terhadap jarak, dapat disimpulkan yang dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil perbandingan tiap nilai reaktansi terhadap jarak

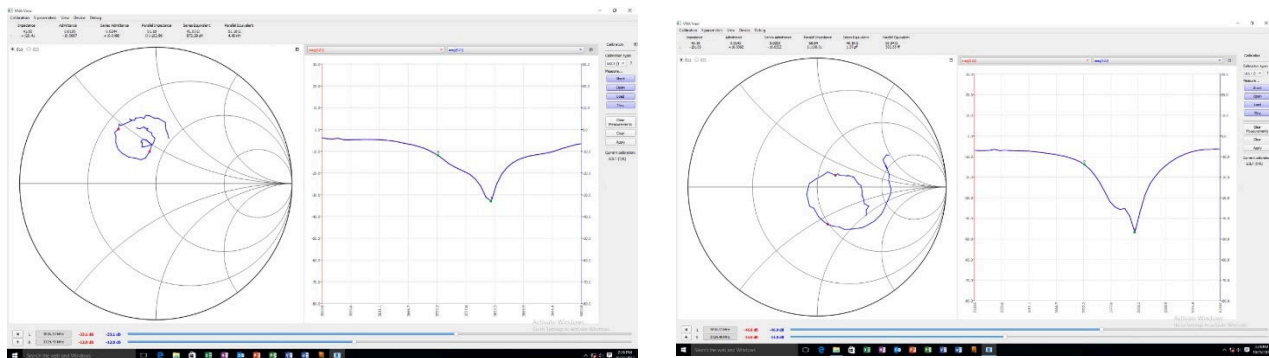
Parameter Kemiringan Reaktansi		Nilai		Jarak (mm)	
Orde 7	Orde 9	Orde 7	Orde 9	Orde 7	Orde 9
x_1 / Z_0 and x_7 / Z_0	x_1 / Z_0 and x_9 / Z_0	15.6671	15.4875	0.29	0.28
x_2 / Z_0 and x_6 / Z_0	x_2 / Z_0 and x_8 / Z_0	13.0155	12.8369	0.23	0.22
x_3 / Z_0 and x_5 / Z_0	x_3 / Z_0 and x_7 / Z_0	8,8322	8.6754	0.14	0.13
X_4 / Z_0	X_4 / Z_0 and x_6 / Z_0	11.76975	11.45452	0.19	0.18
	X_5 / Z_0		8.3969		0.12

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh ukuran desain BSF orde 7: (a) lebar ukuran resonator 3 mm; (b) panjang ukuran resonator 12,66 mm; (c) ukuran *slide factor* (penghubung antar resonator) 3 mm; (d) panjang dimensi 86.99 mm (optimasi CST); (e) lebar dimensi 55 mm (optimasi CST); (f) jarak antarresonator 6,66 mm. Untuk desain BSF orde 9, ukuran desainnya terdiri atas (a) lebar ukuran resonator mm; (b) panjang ukuran resonator 16 mm; (c) ukuran *slide factor* (penghubung antarresonator) 3,7 mm; (d) panjang dimensi 270 mm (optimasi CST); (e) lebar dimensi 80 mm (optimasi CST); (f) jarak antarresonator 8,3 mm. Optimasi CST diperlukan untuk menghasilkan ukuran perancangan *lay-out* BSF yang tepat pada papan cetak *microstrip* jenis FR4. Berikut merupakan hasil *layout* BSF orde 7 dan orde 9.



(a) (b)
Gambar 3. *Layout* Rancangan BSF (a) Orde 7. (b) Orde 9

Layout rancangan BSF difabrikasi pada papan cetak *microstrip* jenis FR4. Setelah proses fabrikasi selesai, BSF diukur dengan menggunakan VNA pada rentang frekuensi 3,5 GHz–4 GHz. Berikut merupakan hasil pengukuran BSF orde 7 dan orde 9.



(a) (b)
Gambar 4. Hasil pengukuran *Duplexer Device* – BSF (a). Orde 7. (b). Orde 9

Hasil pengukuran disimpulkan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil pengukuran *Duplexer Device* – BSF orde 7 dan orde 9

Jenis pengukuran	Nilai	
	Orde 7	Orde 9
Insertion Loss (dB)	-3	-8
Isolasi Tx/Rx (dB)	-33,1	-46,9
VSWR	1,05	1,02
Frekuensi (GHz)	3,826	3,826

Berdasarkan beberapa penelitian, karakteristik *duplexer* yang telah diuji memiliki rugi (*loss*) yang rendah, berukuran kecil (*micro*), performansi isolasi yang tinggi dan andal. Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa *duplexer device*–BSF orde 7 memiliki nilai *insertion loss* yang lebih baik daripada orde 9, tetapi nilai isolasi orde 9 menghasilkan kualitas yang lebih baik daripada orde 7.

Pada penelitian yang mendesain *duplexer device* dengan menggunakan sistem yang terdiri dari CMOS, transformer dan filter diperoleh nilai isolasi -58,9 dB pada frekuensi 2,16 GHz [8]. Nilai VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) yang dihasilkan 1, tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian ini. Penelitian yang menggunakan substrat RF60-0600 menghasilkan nilai isolasi -15 dB hingga -20 dB [2]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai isolasinya lebih rendah kualitas dibandingkan dengan hasil penelitian ini, yang menggunakan substrat FR4 dengan nilai isolasinya menghasilkan -33,1 dB dan -46,9 dB (lihat Tabel 3).

Kualitas performansi isolasi *port* sistem pemancar dan *port* sistem penerima saat terjadi proses komunikasi antarpengguna seluler dan saat terjadinya kepadatan trafik koneksi data memiliki besaran isolasi dalam rentang nilai -60 dB hingga -20 dB. Nilai isolasi tersebut menunjukkan bahwa nilai VSWR sama dengan 1, yang berarti tidak terjadi gelombang pantul saat proses isolasi. Performansi isolasi yang baik dapat mengurangi bahkan mengeliminasi interferensi sehingga sinyal komunikasi lancar selama proses komunikasi antar-*user* berlangsung.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa optimasi FDD pada antena *massive MIMO* berbasis 5G mampu mengeliminasi interferensi dengan mengisolasi *port* sistem pemancar dan *port* sistem penerima saat terjadi proses komunikasi antarpengguna seluler. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil pengukuran *duplexer device*–BSF orde 7 dan orde 9 yang menghasilkan nilai isolasi -33,1 dB dan -46,9 dB. Keunggulan isolasi pada performansi FDD ditandai dengan nilai isolasi yang berada dalam *range* -60 dB hingga -20 dB.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) melalui unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) atas pendanaan penelitian terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) tahun 2022.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. S. Services, "IoT Satellite Solutions IoT Satellite Solutions," pp. 1–16.
- [2] K. Srisathit, R. Phromloungsri, S. Patisang, and M. Chongcheawchamnan, "A New Microstrip Duplexer Using Open-Circuited Dual-Behavior Resonator," 2005.
- [3] Y. Chu, K. Ma, and Y. Wang, "A High Isolation and Low Loss Duplexer Based on SISL Platform," 2018 *IEEE/MTT-S Int. Microw. Symp. - IMS*, Vol. 2, No. c, pp. 525–528, 2018.
- [4] T. Zalabsky and T. Hnilicka, "Duplexer Based on a Cavity Resonators for PSR," no. September, pp. 12–14, 2016.
- [5] L. Laughlin, C. Zhang, M. A. Beach, and A. Kevin, "Passive and Active Electrical Balance Duplexers," vol. 63, pp. 94–98, 2016.
- [6] A. M. Elzayat, A. B. Kouki, and É. D. T. Supérieur, "Tx/Rx Isolation Enhancement Based on a Novel Balanced Duplexer Architecture," pp. 1–4.
- [7] J.-S. HONG, *for RF / Microwave Applications*, 2nd editio. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey., 2011.
- [8] P. Kang and J. Han, "Dual-Band CMOS RF Front-End Employing an Electrical-Balance Duplexer and N-Path LNA for IBFD and FDD Radios," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, Vol. 69, No. 7, pp. 3528–3539, 2021, doi: 10.1109/TMTT.2021.3073153.