

Analisis Pengaruh *Multipath Fading* Terhadap Transmisi Teks Menggunakan Modulasi QPSK Pada Kanal Komunikasi *Indoor* Menggunakan Teknologi *Software Defined Radio*

Elsa Amelia Zahra¹, Stevyn Angely Hutabarat², Rafif Syahputra Pasaribu³, Wahyu Pamungkas⁴

^{1,2,3,4}Telkom University Purwokerto, Fakultas Teknik Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi

^{1,2,3,4}Jl. DI Panjaitan No.128, Karangreja, Purwokerto Kidul, Kec. Purwokerto Sel., Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147

*wahyupa@telkomuniversity.ac.id

Dikirim pada 16-11-2024, Direvisi pada 22-11-2024, Diterima pada 01-12-2024

Abstrak

Seiring berkembangnya komunikasi nirkabel, permintaan akan koneksi data yang andal dan berkualitas tinggi terus meningkat, terutama di lingkungan dalam ruangan (*indoor channel*) dengan banyak hambatan fisik (*multipath fading*). *Multipath fading* di dalam ruangan berpengaruh terhadap kualitas sinyal dengan menggunakan modulasi QPSK. Di dalam ruangan, sinyal yang dipancarkan dari pemancar bisa sampai ke penerima melalui jalur langsung atau jalur pantulan yang terjadi akibat pantulan sinyal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh *multipath fading* yang memengaruhi nilai BER sehingga mengurangi kualitas transmisi sinyal. Penelitian dilakukan di tiga kondisi ruangan *indoor* yang berbeda dengan sebanyak 15 kali percobaan. Ruangan 1 yang memiliki sedikit objek pemantul memiliki nilai BER sebesar $5,31 \times 10^{-9}$ dengan jumlah bit *error* sebesar 3,267. Percobaan transmisi sinyal QPSK pada ruangan 2 yang memiliki objek pemantul lebih banyak daripada ruangan 1 menghasilkan nilai BER yang lebih tinggi sebesar $5,635 \times 10^{-3}$ dengan jumlah bit *error* sebesar $3,325 \times 10^6$. Percobaan pada ruangan 3 yang memiliki jumlah objek pemantul lebih banyak dibandingkan kedua ruangan lainnya menghasilkan nilai BER sebesar $1,22 \times 10^4$ dengan bit *error* sebesar $8,497 \times 10^6$. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwasanya *multipath fading* berpengaruh terhadap kualitas sinyal yang dikirimkan pada ruangan *indoor* dengan kondisi yang berbeda - beda sesuai dengan banyaknya objek pemantul sinyal.

Kata Kunci: Bit Error Rate, Indoor, Multipath Fading, QPSK

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).



Penulis Koresponden:

Wahyu Pamungkas

Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

Jl. DI Panjaitan No. 128, Karangreja, Purwokerto Kidul, Purwokerto Selatan, Banyumas, Jawa Tengah

wahyupa@telkomuniversity.ac.id

I. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya komunikasi nirkabel, permintaan akan koneksi data yang andal dan berkualitas tinggi terus meningkat, terutama di lingkungan dalam ruangan (*indoor channel*) dengan banyak hambatan fisik (*multipath fading*). Fenomena *multipath fading* merupakan salah satu tantangan besar karena sinyal dapat dipantulkan dari berbagai permukaan seperti dinding dan furnitur, sehingga menciptakan jalur *multipath* yang mempengaruhi kualitas transmisi data. Hal ini menyebabkan distorsi dan kualitas sinyal yang diterima buruk, terutama ketika berkomunikasi pada tingkat modulasi tinggi seperti *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) [1].

Multipath fading di dalam ruangan berpengaruh besar terhadap kinerja transmisi sinyal yang menggunakan modulasi digital seperti QPSK. Di dalam ruangan, sinyal yang dipancarkan dari pemancar bisa sampai ke penerima melalui jalur langsung (LOS) atau jalur pantulan (NLOS) yang terjadi akibat pantulan dari dinding, langit-langit, lantai, dan perabotan di sekitar lingkungan. Setiap jalur akan memiliki jarak dan waktu tempuh yang berbeda, sehingga sinyal yang sampai ke penerima mengalami variasi waktu

dan perubahan fase yang tidak merata [2]. Pada modulasi QPSK, perubahan fase sinyal yang tidak konsisten karena interferensi antara sinyal pantulan dapat menyebabkan interferensi destruktif yang menurunkan akurasi penerimaan fase dan meningkatkan *Bit Error Rate* (BER). Selain itu, *multipath fading* di ruangan juga menyebabkan *delay spread*, yaitu perbedaan waktu kedatangan sinyal pantulan yang bisa mengganggu penerimaan sinyal dan menghasilkan *Inter-Symbol Interference* (ISI). Pada QPSK, adanya ISI meningkatkan nilai BER karena sulitnya membedakan simbol satu dengan yang lain, sehingga kualitas transmisi menjadi buruk [3]. Dampak lain dari *multipath fading* adalah penurunan level *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), di mana fluktuasi kekuatan sinyal karena pantulan yang tidak terduga dapat mengurangi SNR yang dibutuhkan untuk mendeteksi fase yang akurat dalam QPSK. Penurunan level SNR tersebut menyebabkan transmisi sinyal menjadi buruk dan membuat kesalahan bit menjadi semakin meningkat. Secara umum, *multipath fading* di dalam ruangan menjadi masalah besar bagi kinerja modulasi QPSK [4]. Pada penelitian sebelumnya, efek *delay spread*, interferensi fase, dan ketidakstabilan SNR menunjukkan bahwa tanpa strategi mitigasi yang efektif, seperti ekualisasi atau teknik *diversity*, sinyal QPSK di lingkungan dalam ruangan akan rentan terhadap kesalahan penerimaan informasi. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh *multipath fading* pada modulasi QPSK penting dilakukan untuk menghasilkan teknik mitigasi yang efektif agar meningkatkan keandalan transmisi sinyal di dalam ruangan [5].

Untuk mengatasi tantangan ini, teknologi *Software Defined Radio* (SDR) memberikan solusi untuk mengatur berbagai parameter komunikasi nirkabel dalam ruangan menggunakan perangkat lunak tanpa mengubah perangkat keras. Penelitian ini menggunakan perangkat *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) untuk memodelkan kondisi *multipath fading* yang *real* dan menguji kinerja transmisi di berbagai lingkungan dalam ruangan. Dalam konteks tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis dampak *multipath fading* terhadap kualitas transmisi teks dengan modulasi QPSK pada kondisi dalam ruangan [6].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modulasi QPSK dan perangkat SDR menghasilkan hasil yang berbeda tergantung pada kondisi saluran. Namun penelitian ini melangkah lebih jauh dan melakukan eksperimen yang lebih spesifik pada lingkungan dalam ruangan dengan jumlah objek reflektif yang berbeda untuk memberikan data empiris mengenai dampak *multipath fading* terhadap nilai *bit error rate* (BER). Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan metode mitigasi *multipath fading* dalam ruangan dan memberikan pengetahuan untuk meningkatkan kualitas transmisi data menggunakan modulasi QPSK di lingkungan serupa [7].

Paper ini terdiri dari 4 bagian. Pada bagian II dijelaskan terkait penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Bagian III menjelaskan terkait metode yang digunakan pada penelitian ini. Dan bagian terakhir yaitu bagian IV, menjelaskan terkait hasil dari percobaan yang telah dilakukan.

II. PENELITIAN SEBELUMNYA

Pada penelitian [8] menggunakan *software* Simulink Matlab untuk sarana percobaannya dengan menggunakan dua buah USRP sebagai pengirim serta penerima text. Penelitian tersebut membandingkan hasil dari kedua modulasi yaitu QPSK dan BPSK dalam hal penurunan nilai *channel (varying frequency offset)* dan kondisi saluran (E_b/N_0 of the AWGN) pada kualitas transmisi BER dan *Output* yang diterima oleh penerima. Hasil dari perbandingan kedua modulasi tersebut terlihat bahwa BPSK dan QPSK memiliki BER yang hampir sebanding, namun BPSK memiliki *throughput* setengah dari QPSK.

Pada buku [9] menjelaskan terkait perancangan sistem komunikasi digital pada *Simulink* MATLAB. Buku ini menjadi acuan dasar terhadap penelitian ini dikarenakan membahas terkait berbagai hal mengenai modulasi QPSK baik dari konstruksi dasar *Simulink*, hasil dari BER pada AWGN, hingga hasil dari percobaan QPSK *Symbol Error Rate*. Pada buku ini juga terdapat modulasi lainnya seperti BPSK, MPSK, dan QAM sehingga sesuai untuk menjadi acuan dasar pada penelitian ini.

Pada penelitian [10] menjelaskan terkait analisa BER menggunakan USRP dan GNU radio pada lingkungan dalam dan luar ruangan, dengan menggunakan dua USRP sebagai pengirim dan penerima. Penelitian ini melakukan percobaan dengan tiga modulasi yaitu BPSK, QPSK, serta GMSK. Dari hasil percobaan tersebut di luar ruangan, modulasi QPSK dapat menerima hampir semua paket yang dikirimkan dibandingkan dengan modulasi lainnya. Pada percobaan luar ruangan, didapatkan hasil bahwa nilai BER pada modulasi GMSK lebih rendah, namun hampir separuh paket yang dikirimkan hilang. Dibandingkan dengan modulasi QPSK yang memiliki nilai BER sedang namun paket yang diterima lebih banyak.

Pada Penelitian [3] melakukan percobaan terkait pengiriman data menggunakan dua buah USRP serta *Simulink* MATLAB. Percobaan dilakukan menggunakan modulasi 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM. Dari hasil percobaan tersebut mendapatkan kesimpulan bahwa peningkatan jumlah sampel dan atau faktor *roll-off* pembentuk pulsa meningkatkan kinerja BER, sekaligus membutuhkan tambahan *bandwidth*.

III. METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Pada penelitian ini berfokus pada eksperimen dengan menggunakan dua buah NI USRP 2920 yang berperan sebagai *transmitter* dan *receiver*. Kedua USRP ini bekerja pada frekuensi 900 MHz. Penelitian ini menggunakan *Software* Matlab tahun R2024b yang digunakan sebagai antarmuka perangkat lunak ke kedua USRP tersebut, serta untuk mendemokan *simulink* yang rangkaian nya telah disediakan oleh Matlab untuk modulasi QPSK. Hal ini berguna untuk membantu dan memahami alur penelitian secara terstruktur serta memastikan setiap tahap dapat di evaluasi dengan baik.

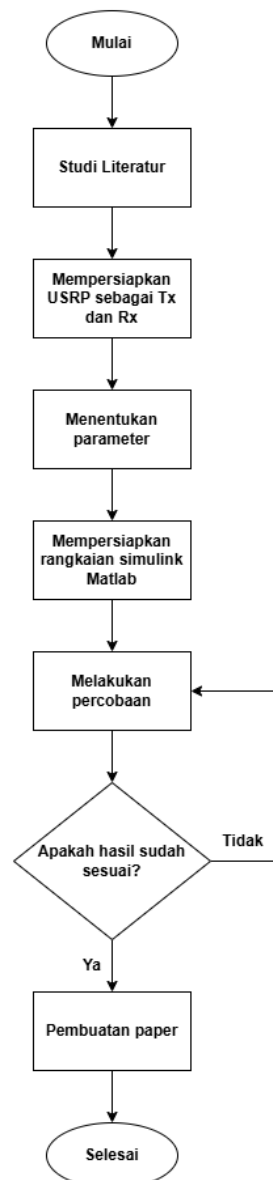


Fig. 1 *Flowchart* Penelitian

Fig. 1 merupakan *flowchart* untuk alur penelitian yang akan dilakukan dimulai dengan tahap studi literatur yang tersedia untuk memperoleh pemahaman teori dan tinjauan terhadap penelitian

sebelumnya dan memperoleh pemahaman mendalam sebelum memulai percobaan. Setelah itu, dilanjutkan dengan mempersiapkan 2 buah USRP sebagai *transmitter* dan *receiver* untuk mendukung proses transmisi dan penerimaan data yang akan dilakukan. Langkah selanjutnya, menentukan parameter yang digunakan dalam percobaan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan relevan dengan tujuan penelitian. Selanjutnya, melakukan percobaan dengan menerapkan parameter dan model simulasi yang sudah disediakan oleh Matlab tahun R2024B. Jika hasil sudah sesuai, studi dapat dilanjutkan dengan analisis mendetail dari percobaan tersebut. Namun, jika hasil tidak sesuai maka proses akan kembali untuk memodifikasi parameter atau metode sehingga hasilnya optimal. Studi ini diakhiri dengan melakukan analisis data.

B. Indoor Multipath Fading Environment

Fig. 2 merupakan gambaran dasar *multipath fading* yang terjadi ketika dilakukannya pengiriman pesan teks dari *transmitter* ke *receiver* di lingkungan dalam ruangan. Dimensi ruangan, jenis bahan dinding, lantai, bahan bangunan dapat mempengaruhi terjadinya *Multipath Fading*. *Multipath fading* menyebabkan pengiriman pesan teks terbagi menjadi dua jenis jalur, jalur pertama disebut *Line-of-Sight (LOS)* yaitu jalur lurus tanpa hambatan dari *transmitter* ke *receiver*. Selain jalur LOS, terdapat jalur *Non-Line-of-Sight (NLOS)* dimana sinyal dipantulkan oleh objek pemantul sebagai reflektor sebelum sampai ke penerima [11]. Akibatnya, sinyal yang diterima oleh Rx lebih dari satu. Kemudian menentukan parameter seperti nilai BER dan pengukuran karakter data. Setelah menentukan parameter, akan dilakukan pengukuran kanal dalam ruangan untuk pengambilan data mengenai transmisi sinyal QPSK melalui kanal *indoor* yang dipengaruhi oleh *multipath fading* dan hasil tersebut dianalisis dari data yang diperoleh melalui pengukuran kanal.

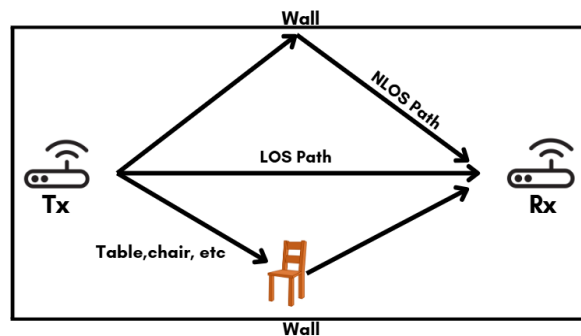


Fig. 2 *Multipath Fading* Pada Lingkungan Dalam Ruangan

C. Rangkaian Pengirim dan Penerima pada Simulink Matlab

1. Rangkaian pengirim (*transmitter*) pada Matlab

Rangkaian ini, dirancang untuk mengirim data melalui modulasi sinyal menggunakan beberapa tahap pemrosesan. Pada rangkaian ini, peneliti memastikan bahwa IP Address dari USRP sudah sesuai dengan yang ada pada MATLAB dengan menggunakan alamat IP 192.168.10.5 yang berperan sebagai perangkat pemancar (*transmitter*). Kemudian memastikan pesan yang akan dikirimkan sudah sesuai dengan parameter yang telah diatur sebelumnya, hal ini penting untuk dapat mendeteksi *error* ketika pengiriman dilakukan.

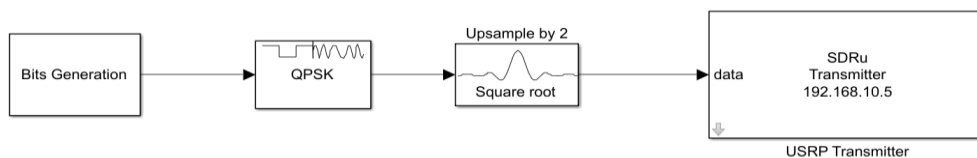


Fig. 3 Rangkaian *Transmitter* Pada Matlab

2. Rangkaian penerima (*receiver*) pada Matlab

Pada rangkaian ini dirancang untuk menerima dan menganalisis sinyal yang dimodulasi menggunakan metode QPSK dengan perangkat keras USRP menggunakan alamat IP 192.168.10.2. Peneliti dapat mengecek apakah terdapat bit yang *error*. Hal ini dapat diketahui

dari nilai BER untuk mengukur kualitas penerimaan sinyal yang ditampilkan pada komponen BER *display*.

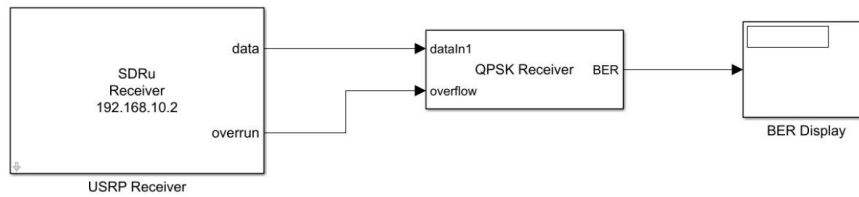


Fig. 4 Rangkaian Receiver Pada Matlab

D. Parameter Pengukuran

Pada Tabel I. merupakan parameter perangkat USRP yang digunakan untuk menganalisis pengaruh *multipath fading* dengan menggunakan perangkat USRP terhadap transmisi teks menggunakan modulasi QPSK. Parameter digunakan untuk menentukan hasil nilai BER jumlah bit yang diterima dan jumlah bit yang *error*. Dalam penelitian ini, BER mengukur persentase bit yang diterima secara salah dibandingkan dengan total bit yang dikirimkan. BER bertujuan untuk mengukur tingkat kesalahan bit selama proses transmisi dan mempengaruhi kualitas transmisi akibat efek *multipath fading*.

TABEL I. PARAMETER PENGUKURAN *MULTIPATH FADING* PADA TRANSMISI TEKS

Parameter	Tx	Rx
Frekuensi (Hz)	900000000	900000000
Jumlah Karakter per Transmisi	829	
Daya (dBm)	17 – 20	
Antenna Gain (dB)	30	0
Jarak (m)	5	

Bit Error Rate (BER) merupakan parameter penting terutama ketika melakukan evaluasi dan analisis sistem, baik itu elektronik maupun sistem lainnya yang melibatkan transfer sinyal melalui media, yaitu dari *transmitter* ke *receiver*. Dalam penelitian ini, BER adalah rasio jumlah bit yang diterima dengan kesalahan terhadap total bit yang dikirimkan selama periode waktu tertentu antara dua perangkat. Nilai BER didapatkan dari jumlah kesalahan bit yang dibandingkan dengan total jumlah bit yang ditransfer selama interval waktu tertentu seperti pada persamaan (1) [3].

$$BER = \frac{\text{Jumlah Error}}{\text{Total Jumlah Bit Pengirim}} \quad (1)$$

Situasi dimana kecepatan transmisi pada waktu tertentu menghasilkan nilai SNR tinggi maka nilai BER menjadi sangat rendah. Probabilitas rata-rata kesalahan bit setiap cabang (dalam fase atau kuadratur) untuk sistem QPSK dihitung dengan persamaan (2) [3]:

$$P_c = (1 - P')^2 \quad (2)$$

$$P_c = \left[1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}} \right) \right]^2 = 1 - \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc}^2 \left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}} \right) \quad (3)$$

Probabilitas rata-rata kesalahan simbol di QPSK

$$P_e = 1 - P_c = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}} \right) - \frac{1}{4} \operatorname{erfc}^2 \left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}} \right) \quad (4)$$

Dimana,

P_c = Probability of a Correct Decision for The 2-bit Symbol

P' = Average probability of bit error of each branch

P_e = Average Probability of symbol error in QPSK

E = Transmitted signal energy per symbol

N_0 = Noise Spectral Density

$erfc$ = Complementary Error Function

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan analisis mengenai pengaruh efek *multipath fading* terhadap transmisi teks menggunakan modulasi QPSK pada lingkungan dalam ruangan (*indoor*) dengan jarak antara USRP pengirim dan penerima ditetapkan sebesar 5 meter. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh *multipath* pada setiap lingkungan dalam ruangan (*indoor*) yang berbeda dengan konsistensi jarak antara pengirim dan penerima tetap pada jarak yang sama. Lingkungan *indoor* yang menjadi fokus penelitian diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori ruangan, yaitu berdasarkan banyak kemungkinan *multipath* yang akan terjadi pada ruangan tersebut ketika proses transmisi data dilakukan. Percobaan dilakukan pada tiga ruangan dengan kondisi yang berbeda, yaitu ruangan 1 yang memiliki sedikit objek pemantul, ruangan 3 yang memiliki banyak objek pemantul dan ruangan 2 yang berada diantara dua kondisi tersebut. Peneliti tidak mempertimbangkan kondisi ruangan yang dapat mempengaruhi kualitas sinyal, seperti perbedaan material bangunan, ukuran ruangan atau keberadaan perangkat elektronik yang dapat menimbulkan interferensi sinyal. Setiap ruangan dilakukan pengukuran sebanyak 15 kali dengan menggunakan nilai BER yang kemudian diambil nilai rata-rata dari keseluruhan percobaan sebagai parameter sinyal yang diukur.

Tabel I. HASIL PERCOBAAN PADA KONDISI 3 RUANGAN

Parameter	Ruangan 1	Ruangan 2	Ruangan 3
Nilai BER	$5,31 \times 10^{-9}$	$5,635 \times 10^3$	$1,22 \times 10^4$
Bit Error (bit)	3,267	$3,325 \times 10^6$	$8,497 \times 10^6$
Bit Diterima (bit)	$5,938 \times 10^8$	$1,305 \times 10^9$	$5,8 \times 10^8$

A. Pengujian Pada

Ruangan 1

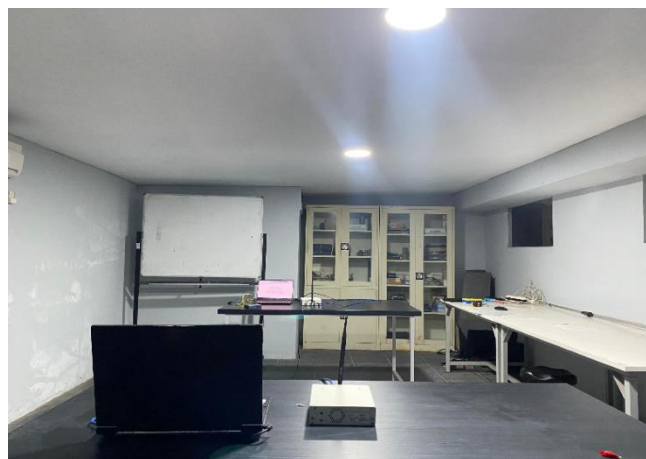


Fig. 5 Kondisi Dalam Ruangan 1

Fig. 5 merupakan kondisi ruangan dengan lingkungan ruangan yang memiliki sedikit objek pantul yang dapat menyebabkan efek *multipath*. Pada Tabel II. menunjukkan hasil pengukuran yang dilakukan di tiga ruangan yang berbeda yaitu ruangan 1, ruangan 2 dan ruangan 3 termasuk jumlah bit yang diterima dan rata – rata nilai *bit error rate* (BER). Berdasarkan pada Tabel II. , hasil pengukuran menunjukkan jumlah bit yang diterima yaitu sebesar $5,938 \times 10^8$ menunjukkan efektivitas

penerimaan sinyal dalam kondisi *multipath* yang rendah dengan hasil pengukuran nilai BER rata-rata yaitu $5,31 \times 10^{-9}$ menunjukkan tingkat kesalahan bit yang sangat rendah karena *multipath fading* minimal dan jumlah bit *error* rata-rata sebesar 3,267 bit menunjukkan kualitas sinyal yang baik dengan gangguan minimal.

B. Pengujian Pada Ruangan 2



Fig. 6. Kondisi Dalam Ruangan 2

Fig. 6. menunjukkan kondisi ruangan 2 dengan lingkungan ruangan yang memiliki objek pemantul dengan jumlah objek pemantul yang lebih banyak dibandingkan pada Ruangan 1, sehingga menyebabkan jumlah *multipath* yang meningkat dibandingkan dengan Ruangan 1. Berdasarkan tabel II, hasil pengukuran menunjukkan jumlah bit yang diterima pada penerima sebesar $1,305 \times 10^9$, dengan hasil pengukuran nilai BER sebesar $5,635 \times 10^3$ dan jumlah bit *error* rata-rata dari percobaan yaitu $3,325 \times 10^6$ bit. Hal ini menunjukkan bahwasanya meskipun dengan jumlah bit yang dikirimkan sama seperti pada ruangan 1, peningkatan nilai BER menunjukkan terjadinya suatu penurunan kualitas sinyal yang ditandai dengan meningkatnya nilai BER dan jumlah bit *error*.

C. Pengujian Pada Ruangan 3

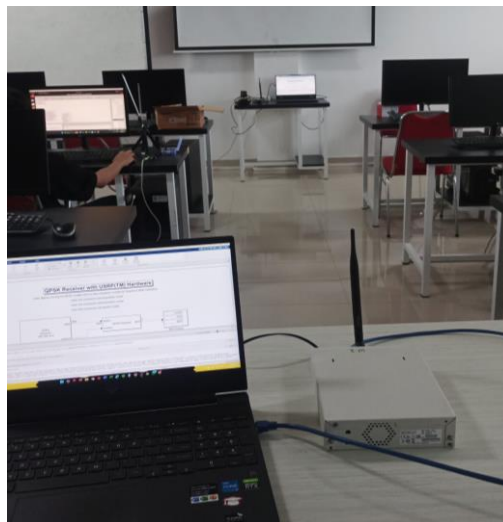


Fig. 7. Kondisi Dalam Ruangan 3

Fig.7. menunjukkan kondisi ruangan 3 yang memiliki banyak objek pemantul dan meningkatkan efek *multipath* secara signifikan. Berdasarkan tabel II, jumlah bit yang diterima adalah $5,8 \times 10^8$ dengan nilai BER sebesar. Berdasarkan keseluruhan percobaan, jumlah bit *error* yaitu sebesar $8,497 \times 10^6$. Meskipun jumlah bit yang dikirimkan konsisten dengan ruangan 1 dan ruangan 2, peningkatan nilai BER dan jumlah bit yang *error* menunjukkan kualitas sinyal yang menurun akibat

efek *multipath* yang lebih banyak terjadi pada ruangan 3 dibandingkan pada ruangan lainnya yang mengakibatkan peningkatan kesalahan bit yang diterima selama proses transmisi.

D. Analisis Perbandingan Persentase Kehilangan Huruf pada Lingkungan Indoor

1. Teks yang Ditransmisikan dan Diterima pada Berbagai Lingkungan Indoor

Tabel III. TEKS YANG DITRANSMISIKAN PADA BERBAGAI LINGKUNGAN INDOOR

Teks yang Ditransmisikan
Telkom University Purwokerto awalnya merupakan bagian dari institusi pendidikan tinggi di bawah Yayasan Pendidikan Telkom. Berawal dari beberapa sekolah tinggi yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan industri telekomunikasi di Indonesia, Telkom University berkembang menjadi universitas berstandar internasional. kampus ini adalah cabang yang mendukung misi utama Telkom University dalam menyediakan pendidikan berkualitas. Fokusnya adalah pada teknologi, informasi, dan komunikasi di era digital. Telkom University Purwokerto juga menawarkan program-program yang relevan dengan kebutuhan industri saat ini. Dengan dosen berkualitas Telkom University Purwokerto berupaya menjadi pusat pendidikan unggulan. Telkom University Purwokerto terus berkembang dan berkontribusi pada pengembangan SDM unggul di bidang teknologi dan bisnis

Tabel IV. TEKS YANG DITERIMA DENGAN SEMPURNA PADA BERBAGAI LINGKUNGAN INDOOR

Teks yang Diterima dengan Sempurna
Telkom University Purwokerto awalnya merupakan bagian dari institusi pendidikan tinggi di bawah Yayasan Pendidikan Telkom. Berawal dari beberapa sekolah tinggi yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan industri telekomunikasi di Indonesia, Telkom University berkembang menjadi universitas berstandar internasional. kampus ini adalah cabang yang mendukung misi utama Telkom University dalam menyediakan pendidikan berkualitas. Fokusnya adalah pada teknologi, informasi, dan komunikasi di era digital. Telkom University Purwokerto juga menawarkan program-program yang relevan dengan kebutuhan industri saat ini. Dengan dosen berkualitas Telkom University Purwokerto berupaya menjadi pusat pendidikan unggulan. Telkom University Purwokerto terus berkembang dan berkontribusi pada pengembangan SDM unggul di bidang teknologi dan bisnis

Tabel V. TEKS YANG TIDAK DITERIMA DENGAN SEMPURNA PADA BERBAGAI LINGKUNGAN INDOOR

Contoh Teks yang Tidak Diterima dengan Sempurna
<i>elkom</i> University Purwokerto awalnya merupakan bagian dari institusi pendidikan tinggi di bawah Yayasan Pendidikan Telkom. Berawal dari beberapa sekolah tinggi yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan industri telekomunikasi di Indonesia, Telkom University berkembang menjadi universitas berstandar internasional. kampus ini adalah cabang yang mendukung misi utama Telkom University dalam menyediakan pendidikan berkualitas. Fokusnya adalah pada teknologi, informasi, dan komunikasi di era digital. Telkom <i>Unjersity</i> Purwokerto juga menawarkan program-program yang relevan dengan kebutuhan industri saat ini. Dengan dosen berkualitas Telkom University Purwokerto berupaya menjadi pusat pendidikan unggulan. Telkom University Purwokerto terus berkembang dan berkontribusi pada pengembangan SDM unggul di bidang teknologi dan bisnis

2. Persentase nilai error pada teks informasi yang dikirimkan

Bagian ini menampilkan persentase nilai *error* yang telah dikirimkan. Setelah mengetahui persentase pada masing-masing ruangan, terlihat perbandingan yang jelas antara ketiga ruangan yang diuji. Semakin banyak objek dalam ruangan, semakin besar kemungkinan terjadinya *multipath fading*. Hal ini dibuktikan oleh hasil yang terdapat pada tabel data di bawah ini.

Lokasi	Persentase Huruf yang Rusak

Tabel VI. PERSENTASE HURUF
DIKIRIMKAN

Ruangan 1	0,000004 %
Ruangan 2	12,34 %
Ruangan 3	18,37 %

ERROR DARI KESELURUHAN TEKS YANG

Dari data pada tabel tersebut, terlihat bahwa Ruangan 1 memiliki persentase *error* paling kecil dibandingkan ruangan lainnya, yaitu hanya sebesar 0,000004% dari keseluruhan teks yang dikirimkan. Hal ini disebabkan oleh kondisi Ruangan 1 yang relatif minim benda, sehingga mengurangi potensi *error*. Berdasarkan hasil dari Ruangan 2, persentase *error* huruf dari keseluruhan teks mencapai 12,34%. Dengan persentase ini, Ruangan 2 memiliki nilai *error* yang berada di tingkat sedang jika dibandingkan dengan kedua ruangan lainnya. Pada Ruangan 3, dengan persentase *error* sebesar 18,37%, dapat disimpulkan bahwa ruangan ini memiliki nilai *error* tertinggi dibandingkan ruangan lainnya. Hal ini disebabkan oleh banyaknya objek di dalam ruangan, seperti meja, kursi, komputer, dan lain-lain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis seluruh percobaan yang telah dilakukan mengenai pengaruh *multipath fading* pada transmisi teks dengan modulasi QPSK di ruangan didapatkan hasil bahwa dari nilai *Bit Error Rate* (BER) pada ruangan 3 memiliki nilai BER sebesar $1,22 \times 10^4$ yang membuat menjadi ruangan yang memiliki nilai BER terbesar diantara ketiga ruangan yang diuji. Hal ini dikarenakan pada ruangan 3 terdapat banyak objek pantul pada ruangan tersebut seperti komputer, meja dan kursi, sehingga resiko *multipath fading* dapat terjadi lebih besar. Ruangan 2 memiliki nilai BER yang tidak lebih besar dari ruangan 3 dengan nilai BER sebesar $5,635 \times 10^3$ mengindikasikan lebih banyak bit *error* dibandingkan dengan Ruangan 1. Kemudian ruangan 1 memiliki nilai BER paling kecil yaitu sebesar $5,31 \times 10^{-9}$, hal ini dikarenakan ruangan tersebut memiliki objek pemantul yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan ruangan 1.

Kemudian pada bit *error* menunjukkan berapa banyak bit yang *error* dari keseluruhan bit yang diterima pada ketiga ruangan. Dari hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa ruangan 3 memiliki nilai bit *error* yang paling buruk dikarenakan hasilnya sebesar $8,497 \times 10^6$, hal tersebut sejalan dengan hasil nilai BER yang dimiliki ruangan 3 lebih besar. Maka dari ketiga ruangan yang dilakukan pengujian, dapat disimpulkan bahwa ruangan 3 memiliki kualitas yang paling buruk dibandingkan dengan ruangan lainnya. Kemudian ruangan 2 memiliki kualitas yang sedang, dan ruangan 1 memiliki kualitas yang paling baik dikarenakan nilai BER dan bit *error* yang lebih sedikit dibandingkan dengan ruangan yang lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Telkom Purwokerto atas dukungan dan fasilitas yang diberikan untuk penelitian ini. Para peneliti juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Hexacomm atas penyediaan fasilitas dan dukungan selama penelitian. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Zainudin, A. Sudarsono, and I. G. P. Astawa, "Reliability Analysis of Digital Communication for Various Data Types Transmission Using GNU Radio and USRP," *Ind. Electron. Semin. 2013*, pp. 91–96, 2013.
- [2] V. A. S, "2X2 MIMO Wireless Communication System with Alamouti coding using single USRP 2944R," 2023.
- [3] B. O. O. Philip-Kpae F. O., "Bit Error Rate and Signal to Noise Ratio Performance Evaluation of OFDM System with QPSK and QAM M-array Modulation Scheme in Rayleigh, Rician and AWGN Channel Using MATLAB / Simulink," *Innov. Syst. Des. Eng.*, vol. 8, no. 4, 2017.
- [4] F. A. Rosyid, S. Larasati, and W. Pamungkas, "Teknik Pengiriman File Audio Berbasis Software Defined Radio pada Kanal Komunikasi dalam Ruangan dengan Multicarrier OFDM," vol. 12, no.

- 4, pp. 907–922, 2024.
- [5] W. Pamungkas, F. A. Isnawati, S. Larasati, E. A. Jayanti, N. E. Ardina, and J. Hendry, “Channel Sounder in Indoor Environment with Multipath Fading using Software Defined Radio,” *IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell.*, pp. 8–14, 2023.
 - [6] J. B. Gros, G. Lerosey, F. Lemoult, M. Lodro, S. Greedy, and G. Gradoni, “Multi-path fading and interference mitigation with Reconfigurable Intelligent Surfaces,” 2022.
 - [7] S. A. K. Tanoli *et al.*, “An experimental channel capacity analysis of cooperative networks using Universal Software Radio Peripheral (USRP),” *Sustain.*, vol. 10, no. 6, 2018.
 - [8] N. Anugraha, I. Seliana, and S. Soim, “Implementasi Layanan untuk Pesan Singkat Menggunakan Perangkat Universal Software Radio Pheripheral (USRP) B210 pada Standar Komunikasi 3GPP Berbasis 4G,” *J. Teknol. Sist. Inf. dan Apl.*, vol. 7, no. 3, pp. 1072–1079, 2024.
 - [9] A. A. Giordano and A. H. Levesque, *Modeling of Digital Communication Systems Using SIMULINK®*. 2015.
 - [10] “Analyzing Bit Error Rate Using Universal Software Radio,” 2017.
 - [11] A. Alashqar, R. Mesleh, and M. Alshawaqfeh, “Digital Communication Software-Defined Radio-Transceiver Implementation Using MATLAB and USRP,” *2023 Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. IWCMC 2023*, no. May 2024, pp. 929–934, 2023.