

Implementasi Sistem Transmisi Gambar Menggunakan Teknologi OFDM Berbasis Software Defined Radio dengan Perangkat USRP

Prihartono⁽¹⁾, I Gede Puja Astawa⁽²⁾, Tri Budi Santoso⁽³⁾

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
Jl. Raya ITS Kampus PENS Surabaya, Indonesia

Email: ¹prihantopens@gmail.com, ²puja@pens.ac.id, ³tribudi@pens.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 21 Mei 2025
Direvisi 30 Mei 2025
Disetujui 06 Oktober 2025
Dipublikasikan 19 November 2025

Keywords:

*OFDM; USRP; Huffman Coding
Convolutional Coding; Viterbi
Decoder*

Kata Kunci:

*OFDM; USRP; Huffman Coding
Convolutional Coding; Viterbi
Decoder*

Corresponding Author:

Name:
I Gede Puja Astawa
Email:
puja@pens.ac.id

Abstract: *In this decade, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) technology has been widely applied in various modern wireless communication systems. OFDM is used to provide high-speed data transmission that is resistant to multipath interference and offers relatively high spectrum efficiency. In this study, an OFDM system prototype equipped with a Huffman Encoder and Decoder, Convolutional Coder, and Viterbi decoder was developed. The OFDM system that has been created is implemented using a Universal Software Radio Peripheral (USRP) device to transmit image data. From the test results, it was found that the OFDM system that has been created and implemented using USRP is capable of transmitting image data well. From visual observation, there were no errors in receiving the transmitted image data. The image received at the receiver was the same shape and size as the image transmitted by the transmitter. The received image was clear, with no image defects such as scratches or mosaics at the measurement distance. A Signal to Noise Ratio (SNR) of more than 30 dB was obtained under line of sight conditions with a measurement distance of 60 cm between the transmitter and receiver. The SNR decreased gradually with increasing measurement distance, reaching approximately 27 dB at a measurement distance of 300 cm between the transmitter and receiver.*

Abstrak: Pada dekade ini teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sangat luas diaplikasikan dalam berbagai sistem komunikasi nirkabel modern. OFDM digunakan untuk menyediakan transmisi data berkecepatan tinggi yang tahan terhadap interferensi multipath dan menawarkan efisiensi spektrum yang relatif tinggi. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *prototype* system OFDM yang

dilengkapi dengan *Huffman Encoder* dan *Decoder*, *Convolutional Coder* dan *Viterbi decoder*. Sistem OFDM yang telah dibuat ini diimplementasikan menggunakan perangkat *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) untuk mentransmisikan data gambar. Dari hasil pengujian pengujian didapatkan hasil bahwa sistem OFDM yang telah dibuat dan diimplementasikan menggunakan USRP tersebut mampu mentransmisikan data gambar dengan baik, dari pengamatan secara visual tidak ada kesalahan penerimaan data gambar yang dtransmisikan. Gambar yang diterima pada receiver sama bentuk dan ukurannya dengan gambar ditransmisikan oleh transmitter. Gambar yang diterima jernih, tidak ada cacat gambar berupa *scratch* atau *mozaik* pada jarak pengukuran yang dilakukan. Didapatkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) lebih dari 30 dB pada kondisi *line of sight* dengan jarak pengukuran 60 cm yang didapat pada jarak pengukuran 60 cm antara *transmitter* dan *receiver*. SNR menurun secara bertahap dengan bertambahnya jarak pengukuran, dan mencapai sekitar 27 dB pada jarak pengukuran 300 cm antara *transmitter* dan *receiver*.

PENDAHULUAN

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan teknik transmisi data berkecepatan tinggi dengan menggunakan beberapa sinyal *carrier* secara paralel dalam pemodulasiannya. Sehingga data yang ditransmisikan akan mempunyai kecepatan yang lebih rendah. Teknik seperti ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sistem komunikasi (Mukherjee & Zhang, 2019). Pada teknik transmisi OFDM setiap *sub-carrier* tersebut disusun untuk saling *overlapping*. Jarak atau *space* antara *sub-carrier* diatur sedemikian rupa, sehingga antar *sub-carrier* mempunyai sifat yang orthogonal (Jiang et al., 2019). Orthogonalitas diantara *sub-carrier* inilah yang menyebabkan munculnya istilah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Penerapan teknik *overlapping* ini dapat menghemat *bandwidth* kanal yang signifikan (Zhang et al., 2019). OFDM menggunakan mekanisme yang mirip dengan *Frequency Division Multiplexing* (FDM) tetapi lebih efisien karena terdapat event orthogonal antara setiap *sub-carrier*.

Penerapan teknologi OFDM telah luas dilakukan di lapangan seperti salah satunya pada televisi digital atau yang lebih dikenal dengan *Digital Video Broadcasting Terrestrial* (DVBT) (Colone, 2021; Klincewicz & Samczyński, 2020). Teknologi DVBT menjadikan sinyal yang diterima memiliki kualitas video yang jauh sangat baik dan tahan terhadap pengaruh cuaca dibandingkan dengan sinyal televisi analog. Teknologi DVBT dari tahun ke tahun terus mengalami perubahan secara teknis untuk menghasilkan kualitas siaran yang lebih baik. Beberapa penelitian yang telah dilakukan beberapa peneliti diantaranya penggunaan sistem OFDM untuk mengetahui kinerja dengan menganalisa Bit *Error Rate* (BER) terhadap perubahan *Signal to Noise ratio* (SNR) (Kojima et al., 2019). Perbandingan beberapa teknik *error correction* didasarkan pada *linear block code*, *convolutional block code* dan *reed solomon code* telah dilakukan sebelumnya (Ding et al., 2020; Ye et al., 2020; Zhao et al., 2022). Penerapan teknik kompresi juga telah diteliti oleh peneliti sebelumnya (Panjaitan, 2021; Simangunsong, 2020) yang menunjang perbaikan performa pada sistem OFDM. Beberapa peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian pada sistem OFDM lebih banyak melakukan secara simulasi program komputer (Jaradat et al., 2019; Jia et al., 2019; Maghari, 2019), sehingga hasil yang didapatkan sangat ideal belum bisa diverifikasi kalau diterapkan pada kondisi sebenarnya. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan penelitian yang terkait dengan teknologi OFDM yang dikombinasikan dengan *error correction* menggunakan *convolutional code* untuk koreksi pada bit data yang ditransmisikan dan menambahkan metode kompresi dengan menggunakan *Huffman code* guna memperkecil /mengefisienkan sinyal gambar yang akan ditransmisikan. Diharapkan penerapan metode tersebut dapat meningkatkan kualitas transmisi sinal gambar. Sehingga gambar yang diterima pada sisi *receiver* memiliki kualitas yang sama dengan gambar yang dikirim pada sisi *transmitter*.

Software Defined Radio (SDR) adalah teknologi *programmable hardware* yang bisa digunakan untuk radio digital untuk fungsi yang berbeda-beda (Duarte et al., 2019; Molla et al., 2022; Şorecău et al., 2023; Xu et al., 2022). Teknologi SDR bertujuan untuk memaksimalkan *programmable* perangkat keras untuk membangun sebuah radio yang berbasis perangkat lunak/*software* (Schmidt et al., 2019). SDR diimplementasikan di beberapa fungsi pada sistem radio, seperti modulasi/demodulasi, pengolahan sinyal, pemrograman pada *software*. Hal ini untuk mempermudah pada saat mendesain ulang sistem *software* radio dimana parameter-parameternya sering diubah-ubah untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan yang diharapkan. Pada sistem radio yang menggunakan perangkat keras penuh, perubahan akan susah dilakukan karena parameter-parameter yang digunakan tetap, dan jika ingin mengubah suatu parameter, maka beberapa perangkat komponen keras harus diganti.

Universal Software Radio Peripheral (USRP) merupakan bagian *front end* pada arsitektur sistem SDR. USRP menggunakan batas frekuensi yang cukup lebar, antara 0-5 GHz (Diouf et al., 2021; Perumal et al., 2022). USRP bekerja sesuai dengan kegunaan dan fungsi SDR, dimana untuk menjalankannya akan dibenamkan pada perangkat tersebut. Komunikasi antara USRP dan Personal Computer (PC) terhubung melalui koneksi kabel *ethernet gigabit*. USRP memiliki empat konverter analog-ke-digital berkecepatan tinggi atau yang lebih dikenal dengan

Analog to Digital Converter (ADC) dan empat konverter digital-ke-analog berkecepatan tinggi atau *Digital to Analog Converter* (DAC), keempat saluran input dan output terhubung ke *Altera Cyclone EP1C12 FPGA*. USRP memerlukan antena untuk dapat melakukan transmisi sinyal dari *transmitter* ke *receiver* dan dengan Bahasa pemrograman LabView maka perangkat ini dipakai sebagai *interface* dari *transmitter* dan *receiver*.

METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium, dengan mendisain diagram sistemnya terlebih dahulu kemudian melakukan koding untuk menjalankan sistem yang dibuat, setelah itu uji eksperimen untuk mendapatkan data-data hasil pengukuran dan kemudian dilanjutkan untuk menganalisa hasil eksperimen yang telah dikumpulkan.

Pada tahap disain sistem yang dilakukan mendisain teknis sistem OFDM pada sisi *transmitter* dan sisi *receiver*. Pada sistem *transmitter* dapat dijelaskan, sinyal input *transmitter* berupa file gambar dalam format *bitmap*. Ukuran file *bitmap* yang digunakan sebagai input adalah 480 x 340 piksel dan 800 x 600 piksel. File gambar tersebut selanjutnya diinputkan ke *image encoder*. Pada *image encoder* file gambar diubah menjadi data biner serial. Selanjutnya pada *Huffman coder* data biner dikompresi guna memperkecil ukuran data biner. Manfaat diakukannya kompresi ini, untuk menghemat *bandwidth* pada saat ditransmisikan. Selanjutnya data biner dimasukkan ke *convolutional coder* untuk dikodekan agar pada saat ditransmisikan *bit error rate* yang terjadi menjadi lebih kecil. Selanjutnya dilakukan proses modulasi pada *Quadrature amplitude modulation* (QAM) modulator. Sinyal yang telah termodulasi/ sinyal *Radio Frequency* (RF), selanjutnya diubah dari sinyal serial menjadi sinyal paralel. Setelah itu diproses pada modul *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) untuk dikonversi dari domain frekuensi ke domain waktu. Selanjutnya ditambah *Cyclic Prefix Adder* agar sinyal RF tidak mengalami *inter symbol interference*. Tahap berikutnya sinyal RF dikonversi dari sinyal paralel menjadi sinyal serial. Pada tahap akhir sinyal RF dikuatkan oleh *High Power Amplifier* (HPA) dan dipancarkan oleh antena.

Pada sistem *receiver*, sinyal RF diterima oleh bagian antena, dan diamplifikasi oleh *Low Noise Amplifier* (LNA), agar level sinyal menjadi lebih tinggi dengan level *noise* yang relatif rendah. Sinyal RF yang sudah diamplifikasi tersebut selanjutnya sinyal RF dikonversi dari sinyal serial menjadi sinyal paralel guna diteruskan pada bagian *Cyclic Prefix Remover* untuk dihilangkan *cyclic prefix*-nya. Selanjutnya sinyal diteruskan ke bagian *Fast Fourier Transform* (FFT). Pada bagian FFT, sinyal dikonversi dari domain waktu ke domain frekuensi. Setelah itu sinyal diekualisasi untuk mengurangi efek *multipath propagation* dan *Doppler spreading*. Selanjutnya sinyal RF dikonversi dari sinyal paralel ke sinyal serial dan didemodulasi pada *QAM demodulator*. Sinyal yang sudah di-demodulasi, kemudian di-decode menggunakan *Viterbi decoder* (Cui et al., 2023; Morikawa et al., 2023) dan *Huffman decoder* (Seo & No, 2023) menjadi data biner. Selanjutnya data biner di-decode menjadi gambar dalam format *bitmap* oleh *image decoder*.

Langkah selanjutnya melakukan koding (membuat pemrograman) melalui *interface* pada perangkat keras USRP menggunakan bahasa pemrograman LabView. Bahasa pemrograman LabVIEW merupakan bahasa pemrograman berbasis *Graphical User Interface* (GUI) yang dibuat oleh *National Instruments* (NI) untuk melakukan testing, pengukuran, dan kontrol terhadap sebuah sistem. LabVIEW banyak diterapkan untuk perangkat-perangkat yang dikeluarkan oleh NI. USRP merupakan sebuah perangkat yang dikeluarkan oleh NI maka dari itu untuk memprogram USRP akan digunakan LabVIEW. Pada riset ini LabVIEW akan digunakan untuk menjalankan beberapa fungsi pada USRP. Seperti konfigurasi USRP, sinkronisasi antar USRP, serta proses modulasi sinyal informasi ke sinyal *carrier* maupun proses demodulasi sinyal *carrier* ke sinyal informasi.

Skenario pengujian yang dilakukan adalah melakukan perubahan jarak antara antena *transmitter* dan antena *receiver* diatur sejauh 60 – 300 cm dengan interval 60 cm tanpa ada halangan/ *line of sight* (LOS) dan ada halangan/ *non line of sight* (NLOS). Pengujian dilakukan

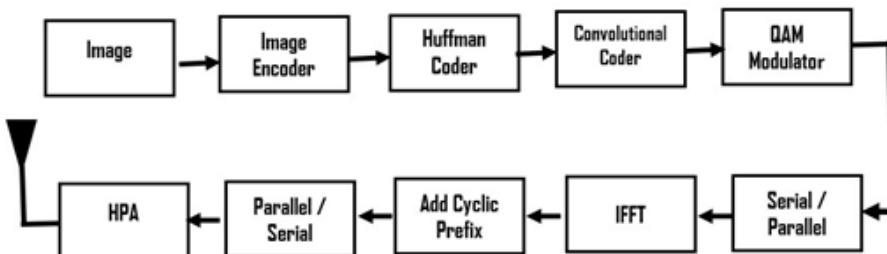
dengan menggunakan *gain transmitter* yang bernilai 20 dB, dan *gain receiver* 0 dB. File gambar yang diuji sebagai input adalah gambar hitam putih berukuran 735 x 621 piksel. Pengujian sistem yang pertama adalah dengan mengamati parameter tampilan gambar secara visual. Dengan mengamati apakah gambar yang diinputkan pada *transmitter*, bisa diterima dan ditampilkan dengan kualitas baik pada *receiver*. Target yang diharapkan adalah gambar bisa ditampilkan dengan kualitas yang sama /setara dengan yang diinputkan pada *transmitter*, seperti tidak *blank*, tidak berubah bentuknya, dan tidak cacat gambar, baik berupa *scratch* atau *mozaik*. Pengujian selanjutnya dilakukan pengukuran parameter SNR guna mengukur kualitas trasmisi. Pengukuran tersebut menggunakan *software* yang telah ada pada *library* LabView. Diharapkan hasil pengukuran SNR diperoleh nilai yang relatif besar di atas 20 dB untuk LOS antara antena *transmitter* dan *receiver* dan lebih dari 10 dB untuk NLOS antara antena *transmitter* dan *receiver*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

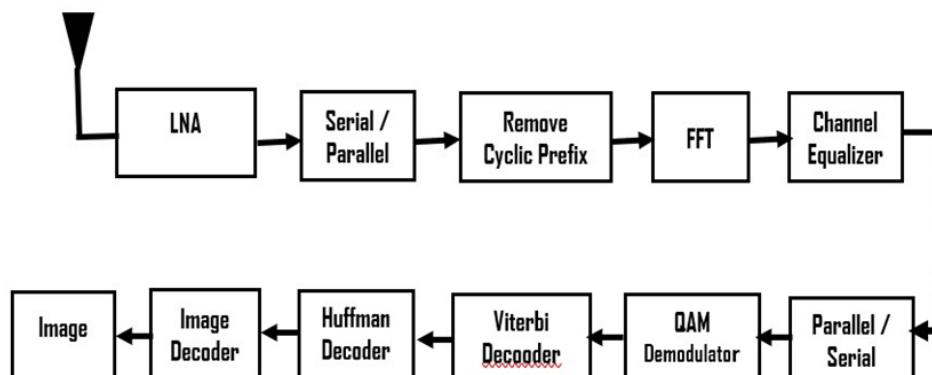
Pada bagian ini akan diperlihatkan disain sistem keseluruhan dan beberapa koding LabView-nya kemudian diperlihatkan hasil pengujian sistem dan analisa pembahasan.

Disain sistem

Desain sistem yang dibuat pada penelitian ini meliputi dua bagian besar yakni sistem *transmitter* dan sistem *receiver* diperlihatkan seperti pada gambar 1 dan 2.

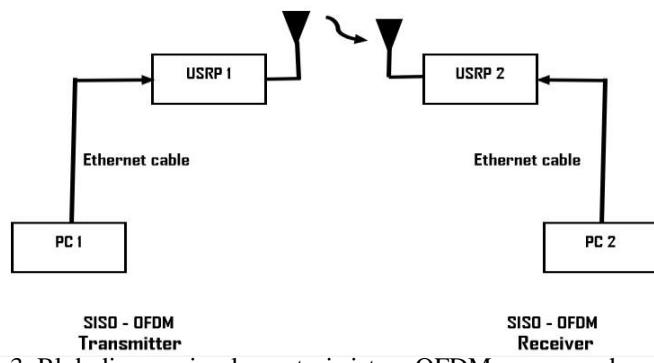


Gambar 1. Blok Diagram *Transmitter*



Gambar 2. Blok Diagram *receiver*

Pada penelitian ini, implementasi sistem OFDM menggunakan perangkat NI-USRP 2920. Dalam setup implementasi sistem digunakan perangkat NI USRP-2920 sebanyak dua unit. Satu unit perangkat digunakan sebagai *transmitter* dan satu unit perangkat digunakan sebagai *receiver*. Blok diagram implementasi sistem OFDM dengan NI-USRP dapat diperlihatkan seperti gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram implementasi sistem OFDM menggunakan USRP

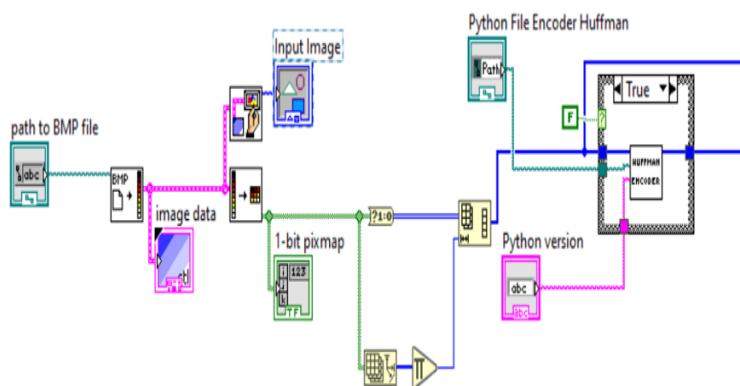
USRP dan PC dihubungkan dengan menggunakan kabel *ethernet*, koneksi USRP dan PC dilakukan secara *Internet Protocol (IP)-based*. Agar koneksi sistem bisa beroperasi perlu dilakukan konfigurasi *IP address* pada PC. Default *IP address* pada NI-USRP adalah 192.168.10.x/24, *IP address* ini dapat diubah sesuai dengan skema yang digunakan. Kabel *ethernet* yang digunakan untuk menghubungkan PC dan USRP merupakan jenis kabel giga bit *ethernet*.

Koding LabView

Dari diagram implementasi sistem pada gambar 3 selanjutnya dibuat koding *interface* menggunakan perangkat keras USRP dengan bahasa pemrograman LabView seperti berikut.

a. Image Encoder

Image encoder adalah komponen penting dalam sistem kompresi dan transmisi gambar digital. Fungsinya adalah mengubah representasi gambar dari format asli ke bentuk yang lebih efisien untuk penyimpanan dan transmisi, dengan tetap mempertahankan kualitas gambar yang dapat diterima. Proses *encoding* ini melibatkan berbagai teknik kompresi yang bertujuan untuk mengurangi redundansi spasial dan spektral dalam gambar 4 (Mentzer ETH Zurich et al., 2020).

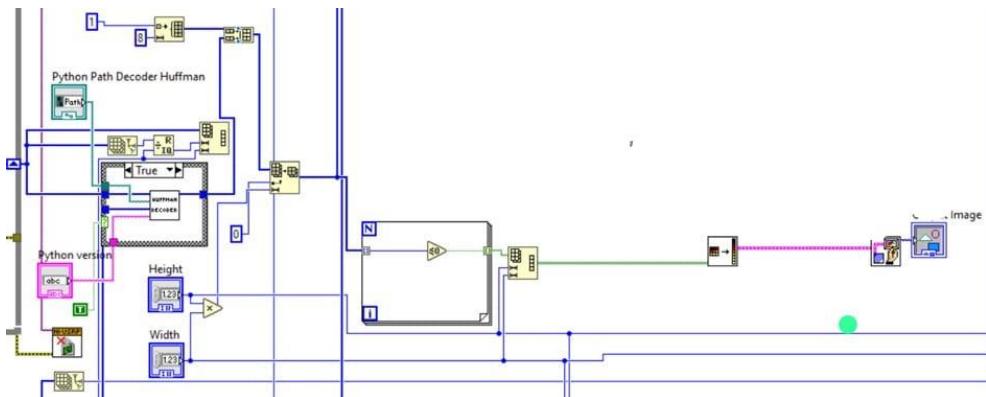


Gambar 4. Blok program *Image Encoder*

b. Image decoder

Image decoder adalah perangkat atau algoritma yang digunakan untuk mengkonversi data yang terkompresi atau dienkode kembali ke format gambar asli. Proses *image decoding* dimulai dengan menerima data gambar yang telah dikompresi dan menyusunnya kembali menjadi representasi gambar yang dapat dipahami dan digunakan. Teknik yang digunakan dalam *image*

decoding tergantung pada metode kompresi yang digunakan saat *encoding*, yang bisa berupa kompresi *lossless* atau *lossy* (Mentzer ETH Zurich et al., 2020). Blok program *Image Encoder* seperti gambar 5.



Gambar 5. Blok program *Image Decoder*

Hasil eksperimen untuk pengujian pada penelitian ini menggunakan input gambar hitam putih, dilakukan untuk kondisi line of sight (LOS) dan *non line of sight* (NLOS). Jarak pengukuran antara antena transmitter dan antena receiver diatur sejauh 60 cm, 120 cm, 180 cm, 240 cm dan 300 cm. BCC rate yang digunakan 2/3 dan 1/2. Foto pelaksanaan pengujian disajikan pada gambar 6 dan 7.

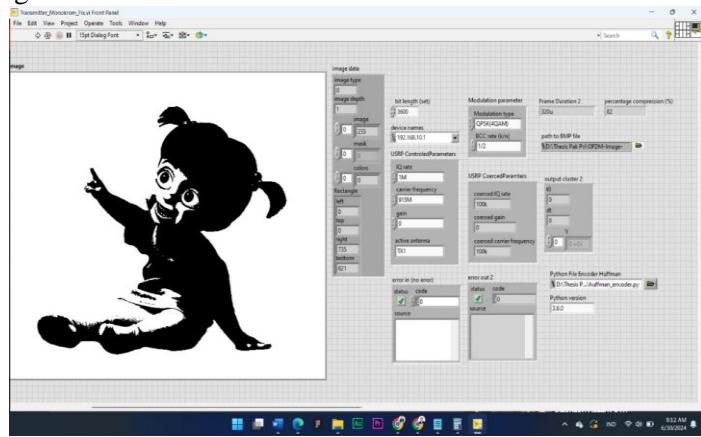


Gambar 6. Konfigurasi pengukuran pada kondisi LOS



Gambar 7. Konfigurasi pengukuran pada kondisi NLOS

Secara visual hasil pengujian sistem OFDM yang telah dibuat dan diimplementasikan menggunakan USRP dengan input gambar hitam putih, menunjukkan hasil penerimaan gambar yang baik dan benar pada sisi *receiver*. Gambar yang dikirimkan melalui input *transmitter* ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Input *transmitter* OFDM

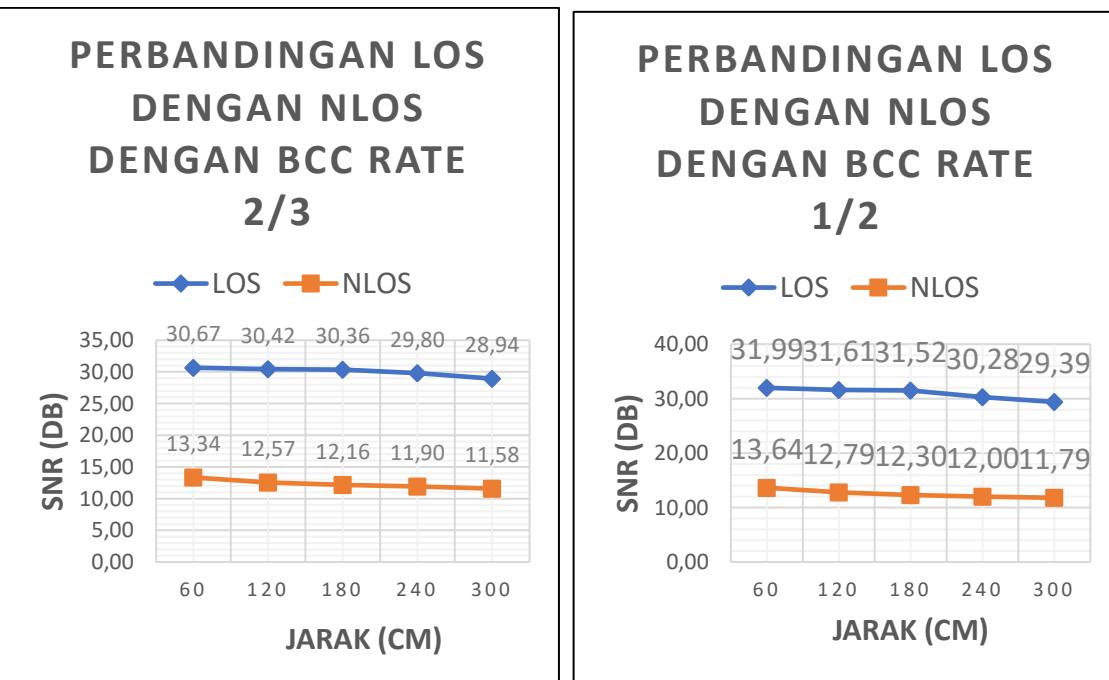
Hasil penerimaan gambar hitam putih pada *receiver* sudah sesuai dengan gambar hitam putih yang dikirimkan pada *transmitter*, tidak ada kesalahan bentuk gambar yang diterima. Gambar yang diterima jernih, tidak ada *scratch* atau mozaik. Pada pengujian tersebut sistem OFDM sudah dilengkapi dengan *Huffman Encoder* dan *Decoder*. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem OFDM yang telah dibuat, telah berhasil mentransmisikan gambar hitam putih dengan hasil baik, dan didapat *ratio kompresi* 82%. Hasil penerimaan gambar hitam putih pada *receiver* ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 *Receiver* OFDM.

Pada gambar 9 karakter yang diterima pada *receiver* OFDM berupa gambar hitam putih seorang anak kecil. Gambar hitam putih anak kecil di sebelah kiri adalah tampilan gambar pada bagian *receiver*, dan gambar hitam putih anak kecil di sebelah kanan adalah tampilan gambar pada *transmitter*. Tampilan gambar pada bagian *transmitter* dan pada bagian *receiver* tersebut sama persis. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa tidak ada kesalahan pada transmisi gambar pada uji coba tersebut. Secara visual terlihat bahwa tidak terjadi kesalahan transmisi gambar.

Hasil pengukuran transmisi data OFDM dengan input gambar pada pengujian kondisi LOS dan kondisi NLOS dengan jarak 60 cm, 120 cm, 180 cm, 240 cm dan 300 cm dengan BCC rate 2/3 dan 1/2, diperlihatkan seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Grafik hasil pengukuran SNR dengan nilai BCC rate 2/3 untuk kondisi LOS dan NLOS

Gambar 11. Grafik Perbandingan Hasil Pengukuran SNR dengan nilai BCC rate 1/2, untuk kondisi LOS dan NLOS

Dari gambar 10 dapat diberikan analisa, pada kondisi LOS, SNR dimulai dari 30,67 dB pada jarak 60 cm dan menurun sedikit menjadi 30,42 dB pada 120 cm. Penurunan ini berlanjut hingga 30,36 dB pada 180 cm, dan tetap menurun pada 29,80 dB pada 240 cm, serta 28,94 dB pada 300 cm. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada penurunan SNR dengan bertambahnya jarak, penurunan ini relatif kecil dan SNR tetap berada pada level yang tinggi, memastikan kualitas sinyal yang baik dalam kondisi LOS. Sebaliknya, dalam kondisi NLOS, SNR mulai dari 13,34 dB pada jarak 60 cm dan menurun menjadi 12,57 dB pada 120 cm. Penurunan ini berlanjut hingga 12,16 dB pada 180 cm, dan sedikit menurun lagi menjadi 11,90 dB pada 240 cm serta 11,58 dB pada 300 cm. Tren ini menunjukkan penurunan SNR yang lebih signifikan dibandingkan dengan kondisi LOS, mencerminkan bahwa kondisi NLOS secara drastis mengurangi kualitas sinyal yang diterima sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan (Dai et al., 2022; Vales et al., 2020). Dari gambar 11 dapat diberikan analisa, pada kondisi LOS, SNR dimulai dari 31,99 dB pada jarak 60 cm dan sedikit menurun menjadi 31,61 dB pada jarak 120 cm. Penurunan ini berlanjut dengan SNR mencapai 31,52 dB pada 180 cm, dan kemudian menurun lagi menjadi 30,28 dB pada 240 cm, serta 29,39 dB pada jarak 300 cm. Ini menunjukkan bahwa meskipun ada penurunan SNR dengan bertambahnya jarak, penurunan ini relatif kecil dan SNR tetap berada pada level yang tinggi, memastikan kualitas sinyal yang baik dalam kondisi LOS. Sebaliknya, dalam kondisi NLOS, SNR mulai dari 13,64 dB pada jarak 60 cm dan menurun menjadi 12,79 dB pada 120 cm. Penurunan ini berlanjut hingga 12,30 dB pada 180 cm, dan kemudian menjadi 12,00 dB pada 240 cm, serta sedikit menurun lagi menjadi 11,79 dB pada jarak 300 cm. Tren ini menunjukkan penurunan SNR yang lebih signifikan dibandingkan dengan kondisi LOS, mencerminkan bahwa kondisi NLOS secara drastis mengurangi kualitas sinyal yang diterima.

Dari gambar 10 dan 11, memperlihatkan kondisi LOS secara konsisten memberikan SNR yang jauh lebih tinggi dan stabil dibandingkan dengan kondisi NLOS pada semua jarak yang diukur. Dalam kondisi LOS, SNR yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa sinyal dapat diterima dengan kualitas yang baik meskipun jarak bertambah. Sebaliknya, dalam kondisi NLOS,

penurunan SNR yang tajam menunjukkan bahwa kualitas sinyal sangat dipengaruhi oleh adanya hambatan dan multipath yang menyebabkan penurunan signifikan dalam penerimaan sinyal. Implementasi BCC *rate* 1/2 dalam kondisi LOS memberikan performa yang jauh lebih baik, memastikan transmisi data yang andal dan efisien dibandingkan dengan kondisi NLOS. Dari perbandingan SNR pada gambar grafik 5 dan 6 dapat dianalisa bahwa pada BCC *rate* 1/2 menghasilkan nilai SNR yang lebih baik pada setiap jarak pengukuran dibanding SNR dengan BCC *rate* 2/3. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan BCC *rate* 1/2 sistem OFDM memberikan *error correction* yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan sistem OFDM dengan BCC *rate* 2/3. Hal ini sesuai dengan riset yang telah dilakukan sebelumnya yang menggunakan modulasi adaptif (Kojima et al., 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem dan diskusi beserta hasil analisa sebelumnya sistem OFDM yang diimplementasikan menggunakan perangkat NI-USRP 2920 telah berhasil mentransmisikan data gambar hitam putih dengan baik dan benar. Hal ini dibuktikan secara pengamatan visual bahwa gambar hitam putih yang dikirim pada transmitter sesuai dengan gambar hitam putih yang diterima pada receiver. Gambar yang diterima jernih, tidak ada cacat berupa *scratch* atau mozaik. *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada pengujian transmisi gambar menunjukkan nilai yang relatif tinggi yakni lebih dari 30 dB pada jarak 60 cm kondisi transmisi LOS. Meskipun ada penurunan SNR dengan bertambahnya jarak, penurunan ini relatif kecil dan SNR tetap berada pada level yang tinggi. SNR pada kondisi NLOS mengalami penurunan yang relatif tinggi yakni sekitar 15 dB dibanding saat kondisi LOS. Selanjutnya SNR mengalami penurunan secara bertahap dengan bertambahnya jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Hal ini mencerminkan bahwa kondisi NLOS secara drastis mengurangi kualitas sinyal yang diterima. Hasil pengujian menggunakan BCC *rate* 1/2 menghasilkan SNR sedikit lebih baik dibanding menggunakan BCC *rate* 2/3. Hal ini mencerminkan bahwa penggunaan convolutional code dengan BCC *rate* 1/2 dapat memberikan *error correction* yang lebih baik sehingga menghasilkan SNR yang lebih baik. Sistem transmisi gambar pada penelitian ini diimplementasikan menggunakan perangkat USRP, dan tidak menggunakan *channel simulator* karena penelitian ini berfokus pada pengujian sistem pada lingkungan nyata yang mencakup berbagai efek saluran transmisi dan kondisi dinamis saluran transmisi, yang tidak selalu dapat direplikasi dengan akurat menggunakan simulator.

Penelitian ini masih didapatkan kekurangan pada sistem yang dibuat dengan mengembangkan implementasi sistem OFDM yang dilengkapi dengan *source coding* dan *channel coding* dengan menggunakan input gambar berwarna maupun input video untuk mentransmisikan gambar berwarna beresolusi tinggi maupun video dan menggunakan tambahan alat ukur yang berstandar professional untuk komparasi pengujian sistem yang dibuat, sehingga hasil pengukuran menjadi lebih akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- Colone, F. (2021). DVB-T-Based Passive Forward Scatter Radar: Inherent Limitations and Enabling Solutions. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 57(2), 1084–1104. <https://doi.org/10.1109/TAES.2020.3035435>
- Cui, H., Sun, Z., Huang, X., Tang, D., Xie, F., & Qiao, Y. (2023). Trellis-Coded Modulation-Enabled Probabilistic Shaping With Simplified Viterbi Decoder for Bandwidth-Limited IMDD Systems. *IEEE Photonics Journal*, 15(5). <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2023.3314028>
- Dai, Z., He, Y., Tran, V., Trigoni, N., & Markham, A. (2022). DeepAoANet: Learning Angle of Arrival From Software Defined Radios With Deep Neural Networks. *IEEE Access*, 10, 3164–3176. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3140146>
- Ding, Y., Huang, Z., & Zhou, J. (2020). An improved blind recognition method for synchronization position and coding parameters of k=n rate convolutional codes in a noisy

- environment. *IEEE Access*, 8, 171305–171315. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025177>
- Diouf, C., Janssen, G. J. M., Dun, H., Kazaz, T., & Tiberius, C. C. J. M. (2021). A USRP-Based Testbed for Wideband Ranging and Positioning Signal Acquisition. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70. <https://doi.org/10.1109/TIM.2021.3065449>
- Duarte, L., Gomes, R., Ribeiro, C., & Caldeirinha, R. F. S. (2019). A software-defined radio for future wireless communication systems at 60 GHz. *Electronics (Switzerland)*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/electronics8121490>
- Jaradat, A. M., Hamamreh, J. M., & Arslan, H. (2019). Modulation Options for OFDM-Based Waveforms: Classification, Comparison, and Future Directions. *IEEE Access*, 7, 17263–17278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2895958>
- Jia, X., Wei, X., Cao, X., & Foroosh, H. (2019). *ComDefend: An Efficient Image Compression Model to Defend Adversarial Examples*. <https://github.com/jiaxiaojunQAQ/Comdefend.git>.
- Jiang, R., Wang, X., Cao, S., Zhao, J., & Li, X. (2019). Joint compressed sensing and enhanced whale optimization algorithm for pilot allocation in underwater acoustic OFDM systems. *IEEE Access*, 7, 95779–95796. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929305>
- Klincewicz, K., & Samczyński, P. (2020). Method of calculating desynchronization of DVB-T transmitters working in SFN for pcl applications. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 20, pp. 1–12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20205776>
- Kojima, S., Maruta, K., & Ahn, C. J. (2019). Adaptive Modulation and Coding Using Neural Network Based SNR Estimation. *IEEE Access*, 7, 183545–183553. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2946973>
- Maghri, A. (2019). A comparative study of DCT and DWT image compression techniques combined with Huffman coding. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, 5(2), 73–86. <https://doi.org/10.5455/jjcit.71-1554982934>
- Mentzer ETH Zurich, F., Van Gool ETH Zurich, L., & Tschannen, M. (2020). *Learning Better Lossless Compression Using Lossy Compression*. <https://github.com/fab-jul/RC-PyTorch>
- Molla, D. M., Badis, H., George, L., & Berbineau, M. (2022). Software Defined Radio Platforms for Wireless Technologies. *IEEE Access*, 10, 26203–26229. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3154364>
- Morikawa, Y., Mizutani, K., & Harada, H. (2023). Mobility Enhancement for IEEE 802.15.4 SUN-OFDM Using Channel Estimation and Viterbi Decoder With Likelihood Ratio Adjustment Methods. *IEEE Open Journal of Vehicular Technology*, 4, 701–712. <https://doi.org/10.1109/OJVT.2023.3307674>
- Mukherjee, A., & Zhang, Z. (2019). Fast compression of OFDM channel state information with constant frequency sinusoidal approximation. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-019-1409-1>
- Panjaitan, J. (2021). Bulletin of Information Technology (BIT) Implementasi Metode Advance Image Coding Untuk Image Compression Pada Citra Natural. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 2(1), 13–19.
- Perumal, K. D., Kanmani Ruby, E. D., Dhivya, M., Aloy Anuja Mary, G., Kavitha, V., & Kandasamy, U. (2022). Experimental Analysis Using USRP for Novel Wavelet-Based Spectrum Sensing for 2.2 GHZ Band Communication Using LabVIEW. *Journal of Nanomaterials*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4947224>
- Schmidt, E., Inupakutika, D., Mundlamuri, R., & Akopian, D. (2019). SDR-Fi: Deep-Learning-Based Indoor Positioning via Software-Defined Radio. *IEEE Access*, 7, 145784–145797. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2945929>
- Seo, B., & No, A. (2023). How Does a Transformer Learn Compression? An Attention Study on Huffman and LZ4. *IEEE Access*, 11, 140559–140568. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3341512>

- Simangunsong, M. (2020). RESOLUSI: Rekayasa Teknik Informatika dan Informasi Perbandingan Algoritma Elias Delta Code Dan Unary Coding Dalam Kompresi Citra Forensik. *Media Online*, 1(1). <https://djournals.com/resolusi>
- Şorecău, M., Şorecău, E., Sârbu, A., & Bechet, P. (2023). Real-Time Statistical Measurement of Wideband Signals Based on Software Defined Radio Technology. *Electronics (Switzerland)*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/electronics12132920>
- Vales, V. B., Dominguez-Bolano, T., Escudero, C. J., & Garcia-Naya, J. A. (2020). Using the Power Delay Profile to Accelerate the Training of Neural Network-Based Classifiers for the Identification of LOS and NLOS UWB Propagation Conditions. *IEEE Access*, 8, 220205–220214. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043503>
- Xu, Y., Amineh, R. K., Dong, Z., Li, F., Kirton, K., & Kohler, M. (2022). Software Defined Radio-Based Wireless Sensing System. *Sensors*, 22(17). <https://doi.org/10.3390/s22176455>
- Ye, J., Wu, T. Y., Xing, J., & Chen, L. (2020). Iterative Soft Decoding of Reed-Solomon Tail-Biting Convolutional Concatenated Codes. *12th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2020*, 957–961. <https://doi.org/10.1109/WCSP49889.2020.9299744>
- Zhang, J., Wen, C. K., Jin, S., & Li, G. Y. (2019). Artificial Intelligence-Aided Receiver for a CP-Free OFDM System: Design, Simulation, and Experimental Test. *IEEE Access*, 7, 58901–58914. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914928>
- Zhao, C., Yang, F., Waweru, D. K., Chen, C., & Xu, H. (2022). Optimized Distributed Generalized Reed-Solomon Coding with Space-Time Block Coded Spatial Modulation. *Sensors*, 22(16). <https://doi.org/10.3390/s22166305>