JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 5, No. 2, Desember 2020, Hal. 175-184
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.175-184
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Analisis Unjuk Kerja Sistem FBMC OQAM Menggunakan *K-NN Clustering* Sebagai Pengganti *Demapper*

Caesar Sabani, Anggun Fitrian Isnawati[#], Mas Aly Afandi
Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Jl. D.I Panjaitan No. 128, Purwokerto 53147, Indonesia
[#]anggun@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Kanal komunikasi sistem *Filter Bank Multicarrier* (FBMC) melakukan pengiriman dan penerimaan sebuah sinyal informasi melalui pengelompokan simbol pada bagian penerima (*receiver*). FBMC merupakan salah satu metode yang lebih baik dibandingkan *Ortoghonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dalam proses modulasi karena sifat *orthogonalitas* yang membagi *bandwidth* untuk sub-saluran tetangga. Penggunaan modulasi *Offset Quadrature Amplitude Modulation* (OQAM) yang memiliki kestabilan sistem lebih baik dari QAM biasa dimana OQAM lebih kuat terhadap efek dispersi serta mampu memperbaiki proses *decision* dan memiliki kecepatan yang tinggi. Algoritma deteksi simbol yang digunakan adalah metode *Zero Forcing* (ZF). Istilah dari pengelompokan pada sisi penerima ini biasa disebut dengan *demapper*. Penelitian ini berfokus pada unjuk kerja K-NN (*K-Nearest Neighbor*) *clustering* yang menggantikan fungsi *demapper* FBMC pada biasanya. *Demapper* K-NN menggunakan metode *Euclidean Distance* yang mengelompokkan bit-bit dari blok diagram pasca pengolahan OQAM menuju diagram 16 QAM. Parameter unjuk kerja sistem pada penelitian ini yaitu diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR) terhadap *Bit Error Rate* (BER) dan kapasitas saluran. Hasil penelitian menunujukan FBMC OQAM ZF *demapper* K-NN memiliki nilai BER lebih baik dibandingkan yang tidak menggunakan ZF. Peningkatan nilai SNR yang digunakan dapat menghasilkan nilai kapasitas kanal yang semakin meningkat.

Kata kunci: FBMC OQAM, ZF, SNR, BER, *K-NN Clustering.*

Abstract

The communication channel of the Multicarrier Bank Filter system (FBMC) transmits and receives an information signal through a grouping of symbols on the receiver. FBMC is a method that is better than Orthoghonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) in the modulation process because of the orthogonality nature which divides the bandwidth for neighboring sub-channels. The use of Offset Quadrature Amplitude Modulation (OQAM) which has better system stability than ordinary QAM where OQAM is stronger against dispersion effects and is able to improve the decision process and has a high speed. The symbol detection algorithm used is the Zero Forcing (ZF) method. The term of the grouping on the receiving side is usually called a demapper. This study focuses on the performance of K-NN (K-Nearest Neighbor) clustering which replaces the usual FBMC demapper function. The K-NN demapper uses the Euclidean Distance method which groups the bits from the block diagram after OQAM processing into a 16 QAM diagram. System performance parameters in this research are measured by Signal to Noise Ratio (SNR) to Bit Error Rate (BER) and channel capacity. The results showed that the FBMC OQAM ZF demapper K-NN had a better BER value than those without ZF. Increasing the SNR value used can produce an increasing channel capacity value.

Keywords: *FBMC OQAM, ZF, SNR, BER, K-NN Clustering.*

I. PENDAHULUAN

Pada sistem telekomunikasi terdiri dari sisi pengirim (*transmitter*) dan juga penerima (*receiver*) terutama pada pita lebar terbatas. Dua hal tersebut tentunya dilengkapi juga dengan peralatan modulasi dan demodulasi yang berguna untuk menguatkan sinyal telekomunikasi pada saat dikirimkan dari sisi pengirim dan mengembalikan atau memodulasikan kembali pada sisi penerima [1]. Pada sisi penerima,

Diterima: 8 Agustus 2020; Direvisi: 29 Agustus 2020; Disetujui: 2 November 2020
JTERA, Vol. 5, No. 2, Desember 2020

© 2020 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

terdapat sebuah metode yang disebut *clustering* atau pengelompokan pada diagram konstelasi. *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dengan 16-QAM [2] memberikan transmisi yang efisien secara spektral dan karenanya sering digunakan dalam sistem dimana komunikasi data berkecepatan tinggi diperlukan melalui saluran pita terbatas [3]. Tetapi, pada saat penerimaan data pada sisi penerima tidak sebaik pada saat dikirim dari sisi pengirim. Hal tersebut dapat dipicu karena metode pendeteksian simbol pada sisi penerima yang tidak bisa menterjemahkan data/simbol yang dikirimkan dari pengirim (Tx). Terdapat beberapa metode pendeteksian simbol seperti MLP (*Perceptron Multilayer Neural Network*) [4], K-*Nearest Neighbor* (K-NN) [5], K-*Means* [6], dan *Fuzzy* K-NN [7]. Hasil penelitan [4] memiliki akurasi untuk masing-masing kelas lebih besar dari 90%, dan kesalahan rata-rata (kesalahan pengklasifikasi) adalah sama atau kurang dari 6%, tidak seperti kebanyakan pengklasifikasi K-*Means* lebih dari 80% , tetapi kurang dari 90% [4]. Penelitian yang dilakukan [5] membahas tentang percobaan yang dilakukan terhadap *iris*, *liver*, dan *blood* menghasilkan metode DCT (*Discrete Cosine Transform K Nearest Neighbor*) K-NN lebih baik dari pada metode K-NN biasa, sedangkan penelitian [6] membahas mengenai tingkat kesempurnaan klasifikasi pada metode K-NN menghasilkan 83,3325 dan klarifikasi K-*Means* 93,7540 dengan objek penelitian penderita sakit epilepsi.

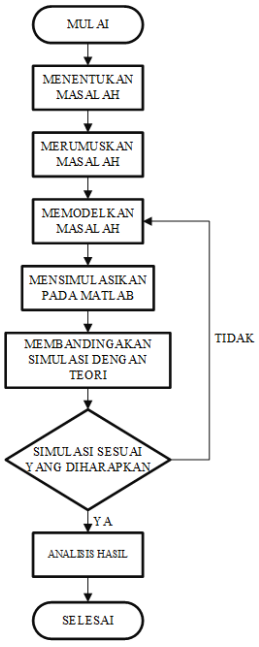
Beberapa model pengembangan yang dibuat didapat hasil bahwa DCT-K-NN lebih baik dibanding K-NN biasa dari segi kualitas dengan melihat jumlah sampel di daerah k dan jarak tetangga terdekat *k* ke sampel *x* [5]. Namun, pada kasus penelitian FBMC OQAM dengan d*emapper* K-NN, DCT-K-NN kurang tepat bila diterapkan karena DCT-K-NN cenderung banyak digunakan pada sinyal EEG (*Electroensefalografi*) dengan *dataset* yang cukup besar, sedangkan *dataset* pada sistem ini hanya berukuran sedang.

Untuk mengoptimalkan kinerja komunikasi nirkabel, FBMC *Offset* QAM telah menjadi metode baru untuk meningkatkan OFDM. FBMC adalah salah satu metode unggul untuk modulasi karena ortogonalitasnya yang membagi *bandwidth* hanya untuk *sub-line* yang berdekatan karena menggunakan modulasi *Offset* QAM yang lebih stabil daripada QAM biasa seperti yang kuat terhadap efek dispersi, mampu meningkatkan proses pengambilan keputusan, dan memiliki *bit rate* yang lebih tinggi. Algoritma pendeteksian simbol digunakan untuk mendapatkan sinyal informasi yang dikirimkan.

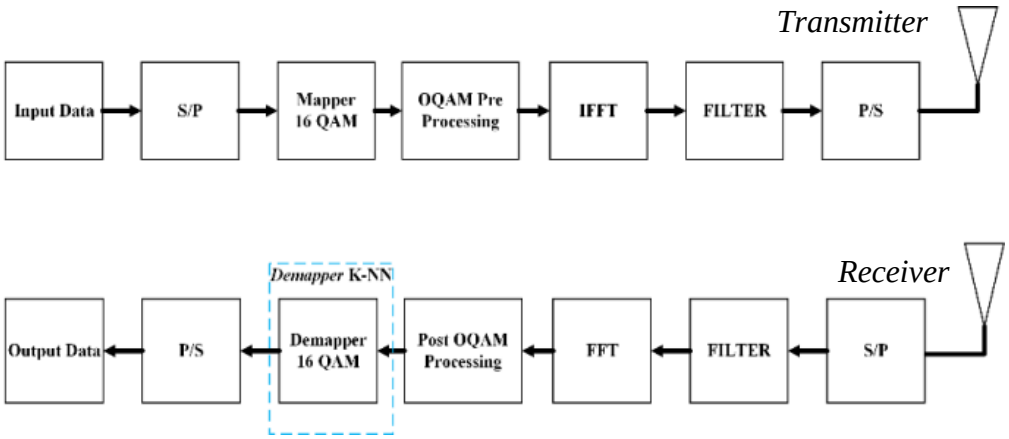
Tujuan penelitian ini adalah mengetahui unjukkerja metode K-NN *clustering* pada sistem FBMC OQAM sebagai fungsi *demapper* sekaligus membandingkan bagaimana performansi sistem FBMC yang menggunakan dan yang tidak menggunakan K-NN sebagai *demapper*. Penelitian terkait yang menggunakan K-NN masih terbatas khususnya dalam bidang telekomunikasi, sehingga penelitian yang dilakukan peneliti ini masih perlu disempurnakan kembali. Secara prinsip kerja algoritma K-NN ini terdapat parameter K, yang merupakan jumlah tetangga terdekat yang ada di sekitar vektor yang tidak diklasifikasi sebagai tidak dikenal. Pada penelitian ini K-NN dipilih berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *Pachecho* dan *López* sekaligus membuktikan kinerja dari perbandingan ketiga metode yang digunakan [4]. Kanal telekomunikasi menggunakan sistem antena *Single Input Single Output* (SISO) karena konfigurasi yang sederhana tetapi mudah untuk mengirim dan menerima sinyal [8]. Dalam penelitian ini, metode *Zero Forcing* (ZF) digunakan untuk mendeteksi sinyal asli yang dikirim oleh antena pemancar [9].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan suatu pemodelan program simulasi dalam menganalisis unjukkerja sistem FBMC menggunakan modulasi 16 QAM pada komunikasi SISO. Model simulasi yang diimplemetasikan dalam penelitian ini, menggunakan sebuah program MATLAB R2016b. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian



Gambar 2. Alur sistem FBMC OQAM

A. Penentuan Masalah

Penelitian yang menggunakan K-NN masih terbatas pada penelitian terkait khususnya dalam telekomunikasi. Masalah yang diteliti merupakan bagaimana unjuk kerja dari sistem FBMC OQAM yang *demapper* aslinya digantikan oleh *machine learning* K-NN dan kemudian dibandingkan hasilnya antara yang menggunakan algoritma pendeteksian simbol *Zero Forcing* (ZF) dan yang tidak menggunakan ZF.

B. Pemodelan Sistem

Peneliti memodelkan sistem FBMC OQAM dengan K-NN sebagai fungsi *demapper* yang ditunjukan pada Gambar 2.

Penjelasan dari sisi pengirim adalah sebagai berikut:

1. Data masukan
   Data yang digunakan sebagai data masukan meupakan data berupa barcode yang berjenis .PNG, berjenis *Red Green Blue* (RGB)
2. *Serial to parallel* (S/P)
   Pada blok diagram pengubah bit serial ke paralel ini berfungsi untuk mengubah bentuk, dari bentuk data bit serial ke dalam bentuk paralel dengan pengelompokan bit-bit tersebut sesuai dengan level modulasi yang digunakan.
3. Pemeta 16-QAM
   Hasil keluaran dari pengubah data serial ke paralel, selanjutnya dipetakan dengan modulasi 16-QAM. Pemetaan/*mapping* 16 QAM dilakukan untuk mengubah data masukan biner menjadi bentuk bilangan komplek *Sk = Ik+ jQk*, dengan k adalah variabel simbol, I adalah *inphase* atau bilangan riil, dan Q adalah *quadrature* atau bilangan imajiner. Modulasi dasar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pemetaan/*mapping* 16 QAM. Maka, setiap simbol yang diterima pada pemetaan ini terdiri dari empat bit. Berikut Tabel 1 tentang pemeta 16-QAM.

Tabel 1. Pemeta 16 QAM [10]

No.	Binner 4 Bit				Bilangan Kompleks (x)
	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	
1	0	0	0	0	0,3162 + 0,3162i
2	0	0	0	1	-0,3162 + 0,3162i
3	0	0	1	0	0,3162 - 0,3162i
4	0	0	1	1	-0,3162 - 0,3162i
5	0	1	0	0	0,9486 + 0,3162i
6	0	1	0	1	- 0,9486 + 0,3162i
7	0	1	1	0	0,9486 - 0,3162i
8	0	1	1	1	- 0,9486 - 0,3162i
9	1	0	0	0	0,3162 + 0,9486i
10	1	0	0	1	- 0,3162 + 0,9486i
11	1	0	1	0	0,3162 - 0,9486i
12	1	0	1	1	- 0,3162 - 0,9486i
13	1	1	0	0	0,9486 + 0,9486i
14	1	1	0	1	- 0,9486 + 0,9486i
15	1	1	1	0	0,9486 - 0,9486i
16	1	1	1	1	- 0,9486 - 0,9486i

Pada Tabel 1 tersebut menunjukkan simbol bilangan biner dari 16-QAM yang dikonversikan menjadi bilangan kompleks (riil dan imajiner).

4. Pra pengolahan OQAM
   Pada proses pra pengolahan OQAM, simbol yang dikirimkan dipecah menjadi 2 yaitu simbol ganjil dan genap. Simbol ganjil genap didapat dari urutan simbol yang dikirimkan. Simbol tersebut diolah di dalam pra pengolahan OQAM yang terdiri dari 2 operasi yaitu proses pengubahan bilangan kompleks menjadi bilangan riil dan proses perkalian dengan θk,n. Pada operasi pertama simbol ganjil genap yang terdiri dari bilangan riil dan imajiner masing-masing dipisahkan. Lalu masing-masing bilangan riil dan imajiner mengalami peningkatan jumlah (*up-sampling* sebesar 2 kali)

yang diikuti dengan pergeseran setengah fasa sebesar 90° (1 fasa = 180°).

5. IFFT dan filter
   Proes ini merupakan proses pemfilteran/ pemisahan dari sinyal-sinyal yang tidak dikehendaki untuk masuk, dan terdiri dari *inverse*/ kebalikan transformasi Fourier dan proses *bank* filter.
6. *Paralel to serial* (P/S)
   Pengubah paralel ke serial di sisi pengirim, berfungsi untuk mengubah keluaran dari sintesis bank filter yang semula bentuknya data paralel menjadi bentuk serial, untuk dapat dikirimkan menjadi 1 baris.
7. Kanal transmisi
   Kanal transmisi yang digunakan pada simulasi ini adalah kanal AWGN *(Additive White Gaussian Noise)*. Pada kanal AWGN diasumsikan memiliki derau yang terdistribusi normal (*Gaussian*). Derau AWGN terdistribusi normal dengan nilai rata-rata adalah nol. Derau ini bersifat acak dan bersifat menambahkan sinyal asli.

Penjelasan dari sisi penerima adalah sebagai berikut:

1. Deteksi Simbol Pemaksaan Nol (*Zero Forcing*)
   Proses deteksi simbol dilakukan dengan mengolah sinyal secara digital untuk mendapatkan nilai sinyal aslinya. Pengolahan sinyal ini dapat dilakukan dengan berbagai macam algoritma deteksi simbol seperti, *Zero Forcing* (ZF), *Least Square* (LS), *Minimum Mean Square Error* (MMSE), dan lain- lain. Pada simulasi ini difokuskan pada algoritma yang paling sederhana yaitu *Zero Forcing* (ZF). Algoritma ini cukup mudah digunakan, yaitu hanya dengan menginverskan kanal H dan dikalikan dengan sinyal kirim kemudian ditambahkan dengan derau AWGN.
2. *Serial to Paralel* (S/P)
   Pengubah data serial menjadi paralel di sisi penerima, berfungsi untuk mengubah keluaran dari antena penerima bentuk paralel. Untuk dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu proses analisis *bank filter*.
3. Analisis *Bank Filter*
   Proses Analisis *Bank Filter* merupakan kebalikan dari proses *sintesis bank filter*. Analisis *bank filter*, terdiri dari 2 proses yaitu proses transformasi *Fourier* dan proses filter atau bank filter.
4. Pasca Pengolahan OQAM
   Pasca pengolahan OQAM merupakan kebalikan dari bagan pra pengolahan OQAM. Blok pasca pengolahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, yang memiliki dua struktur yang berbeda berdasarkan urutan kanal ganjil atau genap.
5. *Demapper* K-NN
   Pada bagian penerima, terjadi proses kebalikan yaitu dari pemeta 16 QAM, yaitu proses pengawa peta 16 QAM. Pada proses ini, setiap simbol dipetakan kembali untuk membentuk empat bit data kembali. Proses pengambilan keputusan pada pengawa-peta 16 QAM, digunakan untuk menentukan simbol mana yang sebenarnya dikirimkan oleh antena pengirim. Jarak *Euclidean* sering digunakan untuk penggunaan yang berkelanjutan, fungsi jarak *Euclidean* dijelaskan sebagai berikut [11]:

$$D(x_i, xj) = \sqrt{\sum_{n=1}^{n} \left(X_{im} - x_{jm}\right)^2} \qquad (1)$$

Formula di atas menunjukkan bilangan imajiner yang dikurangi dengan real pada diagram konstelasi. Pengambilan keputusan yang dilakukan adalah menggunakan metode K-NN *clustering*, hal ini diperlukan karena adanya pengaruh kanal dan derau yang mengakibatkan simbol QAM di bagian penerima menjadi tidak seperti data yang dikirimkan dari sisi pengirim yang didapat pada keluaran pemeta 16 QAM pada sisi pengirim. Tabel 2 adalah tabel *demapper* 16 QAM sesuai aturan 3GPP. Tabel 2 menunjukkan keterangan *demapper* yang akan digunakan sebagai titik acuan 16 QAM yang nantinya dihitung oleh *machine learning* K-NN dari keluaran OQAM *post processing*.

Cara kerja dari metode KNN ini yaitu pada diagram konstelasi 16 QAM yang data inputannya berdasarkan OQAM *post processing* yang berupa bilangan kompleks. Kemudian pada

Tabel 2. Demapper 16 QAM

No.	Riil (x)	Imajiner (y)	Keluaran
1	0 < x < 0,6324	0 < y < 0,6324	0 0 0 0
2	0 > x > -0.6324	0 < y < 0,6324	0 0 0 1
3	0 < x < 0,6324	0 > y > -0,6324	0 0 1 0
4	0 > x > -0,6324	0 > y > -0,6324	0 0 1 1
5	x > 0,6324	0 < y < 0,6324	0 1 0 0
6	x < -0,6324	0 < y < 0,6324	0 1 0 1
7	x > 0,6324	0 > y > -0,6324	0 1 1 0
8	x < -0,6324	-0,6324 < 0	0 1 1 1
9	0 < x < 0,6324	y > 0,6324	1 0 0 0
10	0 > x > -0,6324	y > 0,6324	1 0 0 1
11	0 < x < 0,6324	y < -0,6324	1 0 1 0
12	0 > x > -0,6324	y < -0,6324	1 0 1 1
13	0,6324 < x	y > 0,6324	1 1 0 0
14	-0,6324 > x	y > 0,6324	1 1 0 1
15	0,6324 < x	y < -0,6324	1 1 1 0
16	-0,6324 > x	y < -0,6324	1 1 1 1

saat memasuki bagian konstelasi dikelompokan menggunakan K-NN dengan mengukur jarak *Euclidean*. Dan pengambilan keputusan data tersebut masuk pada konstelasi bagian mana itu merupakan keputusan yang dibuat oleh K-NN sendiri dengan prinsip jarak terdekatnya.

6. *Paralel to Serial* (P/S)
   Fungsinya adalah untuk mengubah bentuk dari yang semula bentuk bit paralel menjadi bit serial, dengan mengelompokkan tiap empat bit biner keluaran dari pengawa-petaan 16 QAM, menjadi satu baris sebagai keluaran dari proses pengawapetaan 16-QAM ke data serial bit.
7. Data Keluaran
   Di sisi penerima, bit-bit biner tersebut dikembalikan kembali ke bentuk semula yaitu citra. Hasil bit - bit biner keluaran sinyal tersebut, dapat digunakan untuk membandingkan bit keluaran dengan bit masukan untuk mendapatkan nilai SNR terhadap BER. Dan kemudian bit biner tersebut dikembalikan lagi ke dalam bentuk semula yaitu sinyal audio untuk dapat diperoleh hasil dari perbaikan dari sistem tersebut.

C. Simulasi MATLAB

Proses pengujian sistem FBMC OQAM dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB.

D. Membandingkan Teori Dengan Simulasi

Pada tahapan ini penulis melihat perbandingan antara hasil simulasi dengan teori dalam keluaran dari MATLAB berupa plot grafik.

E. Analisis Hasil

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dimana diketahui bagaimana unjukkerja sistem FBMC OQAM *zero forcing* (ZF) dengan *demapper* K-NN dan FBMC OQAM dengan *demapper* K-NN tanpa ZF.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi

Parameter yang digunakan dalam simulasi FBMC OQAM yaitu modulasi digital 16-QAM yang kemudian selanjutnya diubah kedalam bentuk modulasi OQAM. Simulasi ini dijalankan pada sistem antena *Single Input Single Output* (SISO). Parameter S*ignal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER) dan kapasitas kanal, digunakan sebagai parameter pengujian sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan unjuk kerja SNR, BER, dan kapsitas kanal baik dala penggunaan *Zero Forcing* (ZF) *Equalizer* di sisi penerima maupun tidak menggunakan ZF di sisi penerima dan *demapper* menggunakan K-NN maupun tidak menggunakan K-NN.

Data masukan berupa citra *barcode* berukuran 80x80x3 pixel dan memiliki jenis file .PNG, dan Gambar 3 merupakan data masukannya.

Untuk dapat mengubah citra tersebut menjadi biner, tahap awalnya adalah mengubah citra RGB menjadi citra *grayscale*, kemudian untuk diproses berikutnya pengubahan pada MATLAB melalui *grayscale to binary*, agar proses pengolahan data menjadi ringan dalam sistem FBMC dan komputasi pada perangkat.

Pada tahap simulasi menggunakan modulasi dasar 16 QAM. Setiap simbol yang sudah diubah menjadi binari code kemudian dikirimkan oleh modulasi 16 QAM yang terdiri atas 4 bit. Proses S/P bertujuan agar membagi data biner yang awalnya berbentuk serial menjadi paralel yang terdiri atas simbol-simbol yang dihasilkan.

Proses pemetaan pada modulasi 16 QAM berguna untuk mengubah data dari S/P, yang setiap simbolnya terdiri dari empat bit biner menjadi bentuk simbol baru yang berbentuk bilangan kompleks. Dimana bilangan kompleks adalah bilangan yang terdiri dari bilangan riil dan imajiner.

Pada tahapan ini terdiri dari 2 bagian yang sudah dijelaskan diatas, Pada tahap pertama simbol-simbol tersebut dipisahkan, lalu masing-masing mengalami pengingkatan jumlah (*up-sampling* sebesar 2 kali) yang diikuti dengan pergerseran fasa sebesar 90° pada sisi imajiner. Pada tahapan kedua, simbol baru yang telah didapatkan dikalikan dengan $\theta_{k,n}$ untuk mendapatkan nilai riil. Maka simbol baru dihasilkan dari pra pengolahan OQAM adalah:

1. -0,0000 – 0,9487i dan -0,0000 – 0,9487i.
2. 0,9487 + 0,0000i dan 0,9487 + 0,0000i.

Untuk dapat memudahkan proses selanjutnya, hasil keluaran pra pengolahan OQAM diubah menjadi 1 kolom. Untuk data pada kolom pertama dimulai dari baris 1 sampai dengan 1600. Sedangkan data pada kolom kedua berubah menjadi baris yang dimulai dari 1601 sampai dengan 3200.



Gambar 3. Data masukan (citra *barcode*)

Pengiriman data menggunakan sistem FBMC dibagian pengirim disebut dengan sistesis bank filter. Pada sistesis bank filter terdiri dari dua tahapan yaitu proses kebalikan dari metode transformasi *Fourier* atau disebut dengan *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) dan proses filter. Hasil dari keluaran pra pengolahan OQAM dikenakan proses IFFT. Kemudian pada proses filter, keluaran dari IFFT masing-masing dikalikan dengan filter. Untuk jenis filter yang digunakan pada simulasi ini diasumsikan dengan filter ideal, maka hasil keluaran IFFT langsung diteruskan tanpa adanya penyaringan data terlebih dahulu.

Data yang dikirimkan pada antena pengirim (Tx) dikirimkan secara bersamaan melalui kanal AWGN. Sinyal yang diterima disisi penerima merupakan hasil dari perkalian antara sinyal yang dikirim dengan H (kanal AWGN), yang kemudian dijumlahkan dengan derau AWGN. Derau AWGN merupakan derau yang tidak dapat dihindarkan, yang terdari pada proses pentransmisian data.

Deteksi simbol digunakan sebagai penyempurnaan sinyal yang dikirmkan oleh Tx sehingga sinyal data yang diterima lebih baik. Hal ini dikarenakan sinyal-sinyal yang berada pada Rx merupakan hasil dari perkalian sinyal-sinyal dari antena Tx dengan jenis kanal yang digunakan, yang kemudian ditambahkan dengan derau, sehingga nilainya belum dapat dipakai untuk mewakili salah satu sinyal dari antena pengirim. Untuk algoritma yang dipakai menggunakan ZF. Penerapan ZF dalam simulasi ini yaitu dengan sinyal yang diterima dapat diperoleh dengan hanya mengalikan sinyal yang telah melewati kanal dan derau dengan kebalikan dari kanal H.

Analisis bank filter merupakan proses kebalikan dari proses sintesis *bank filter*. Pada analisis bank filter terdiri dari 2 proses yaitu proses *filter* dan proses transformasi *Fourier* atau *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil dari keluaran blok deteksi simbol langsung diteruskan tanpa adanya penyaringan data terlebih dahulu, dikarenakan *filter* yang digunakan adalah *filter* ideal. Hasil keluaran dari proses filter selanjutnya dikenakan proses FFT. Lalu hasil keluaran diubah kembali menjadi paralel dengan 2 kolom agar memudahkan proses pasca pengolahan OQAM.

Modulasi OQAM disisi Rx adalah proses pasca pengolahan OQAM. Pasca pengolahan OQAM terdiri dari dua operasi yaitu:

1. Proses perkalian dengan kebalikan $\theta_{k,n}$.
2. Proses pengubahan bilangan riil menjadi bilangan kompleks.

Pada operasi pertama pasca pengolahan OQAM simbol bilangan kompleks keluaran dari FFT tersebut dikalikan dengan $\theta_{k,n}$. untuk mendapatkan nilai riil. Kemudian pada proses kedua masing-masing bilangan riil mengalami penurunan jumlah (*down-sampling* sebesar 2 kali) yang diikuti dengan pergerseran fasa sebesar 90° lalu dikalikan dengan *j* agar menghasilkan suatu bilangan kompleks.

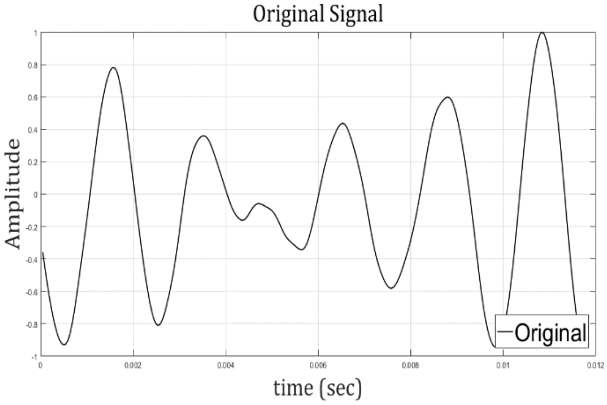
Pada tahapan ini setiap simbol yang diterima dari keluaran pasca pengolahan OQAM, dipetakan menjadi ke simbol awal sebelum memasuki proses pemetaan 16 QAM.

Pada blok diagram ini hasil dari keluaran blok demapping 16 QAM dalam bentuk paralel kemudian diubah kembali menjadi bentuk serial.

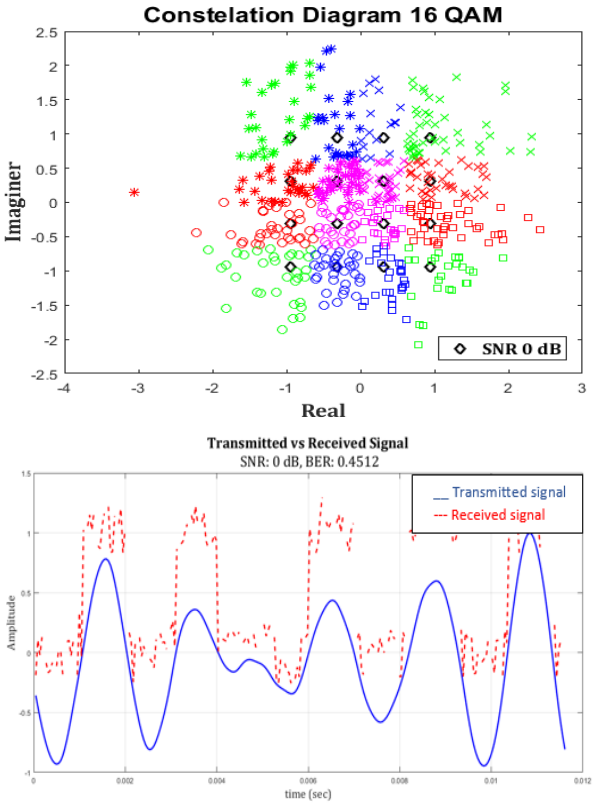
Pada data keluaran bit biner yang dihasilkan dikembalikan menjadi seperti semula. Gambar 4 dan Gambar 5 adalah hasil keluaran dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 menunjukkan hasil keluaran diagram konstelasi pada nilai SNR yang berubah dari mulai SNR 0 dB sampai dengan 30 dB. Semakin besar nilai SNR maka data simbol semakin mengelompok ke dalam titik-titik konstelasi 16 QAM. Sedangkan semakin kecil SNR, maka simbol semakin menyebar.



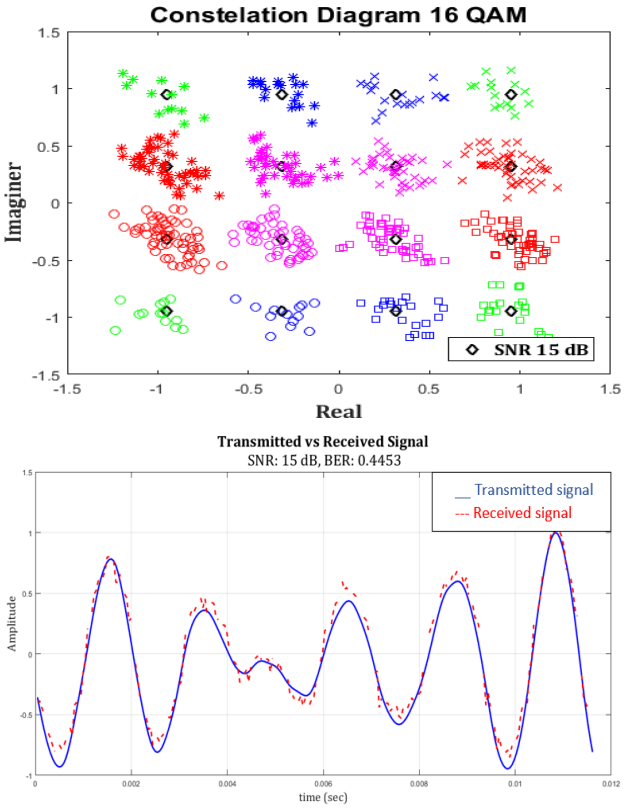
Gambar 4. Hasil keluaran dari simulasi Sistem FBMC OQAM *demapper* K-NN



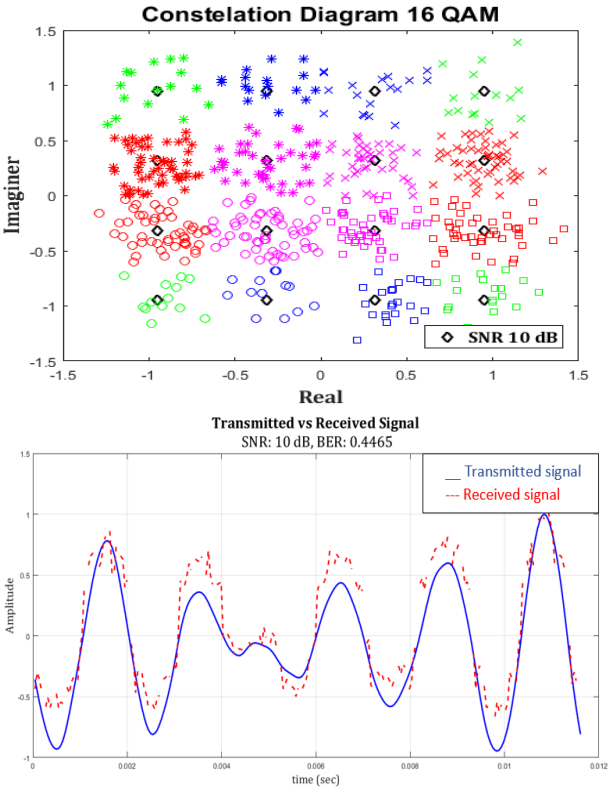
Gambar 5. Hasil keluaran sinyal audio input



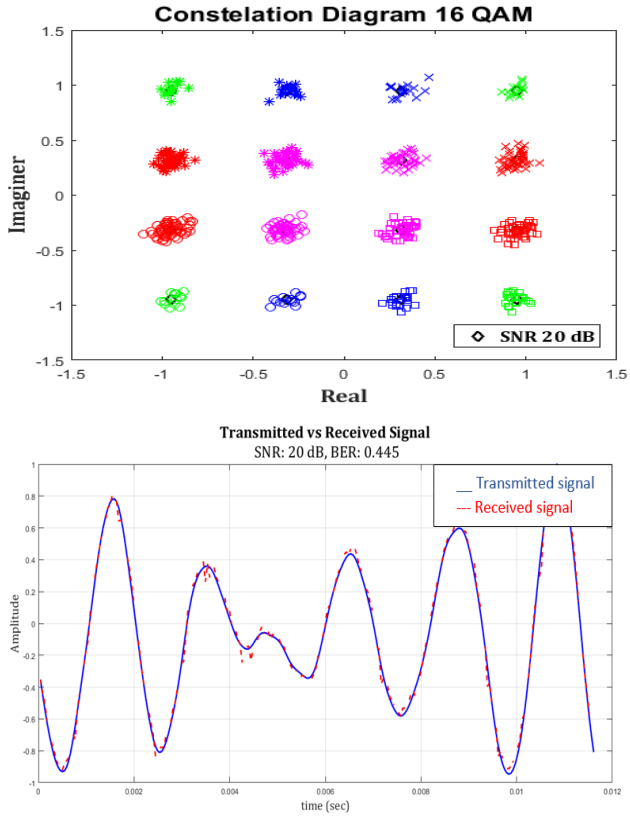
Gambar 6. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 0 dB



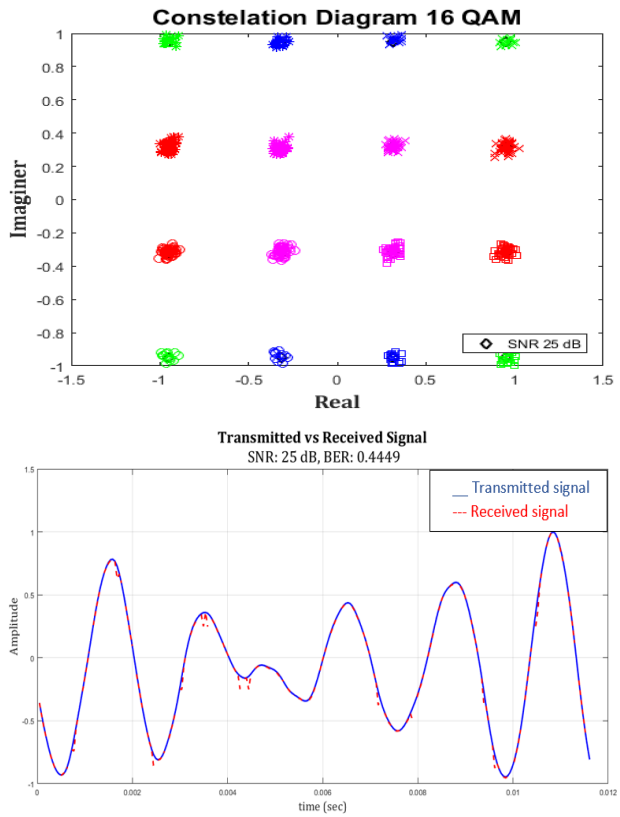
Gambar 8. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 15 dB



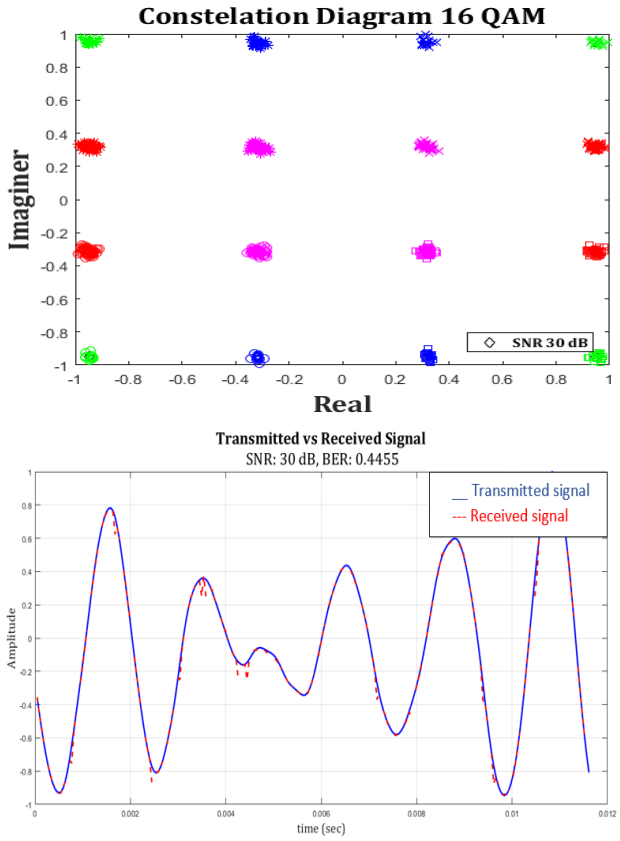
Gambar 7. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 10 dB



Gambar 9. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 20 dB



Gambar 10. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 25 dB



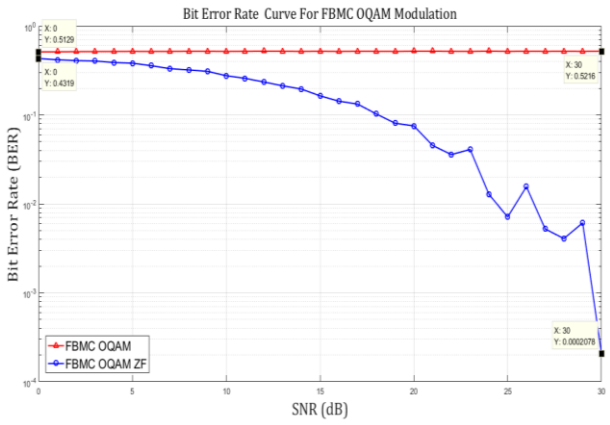
Gambar 11. Hasil keluaran diagram konstelasi dan sinyal audio pada SNR 30 dB

B. Pengujian Kinerja SNR dan BER

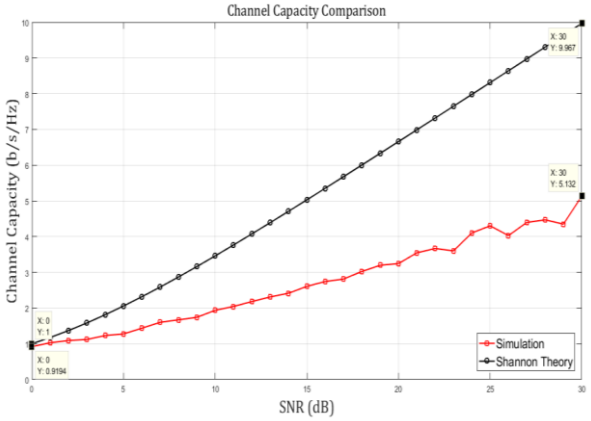
Pada pengujian sistem FBMC OQAM, data yang dikirimkan dan diterima merupakan hasil murni dari sistem tersebut berupa data yang dikalikan dengan kanal kemudian ditambahkan dengan derau, tanpa ada penambahan *equalizer* di dalam sistem tersebut. Berikut merupakan hasil perbandingan SNR terhadap BER dari simulasi sistem yang ditunjukkan oleh Gambar 12.

Berdasarkan Gambar 12, dapat diketahui bahwa nilai BER simulasi FBMC OQAM yang dihasilkan tanpa menggunakan Zero Forcing bernilai 0,5216. Nilai BER yang dihasilkan ini cukup tinggi. Sedangkan pada sistem FBMC OQAM dengan K-NN *demapper* maksudnya adalah suatu perancangan sistem telekomunikasi dengan adanya penggunaan metode K-NN pada salah satu bagian blok penerima. Berdasarkan hasil simulasi, peningkatan kinerja BER yang ditunjukkan pada Gambar 12 dapat diketahui bahwa pada nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,4319 pada SNR 0 dB, sedangkan pada nilai SNR 30 dB, nilai BER yang dihasilkan turun menjadi 0,0002078. Penurunan nilai BER dari hasil simulasi ini lebih signifikan dari hasil BER sistem FBMC OQAM K-NN *Demapper* tanpa ZF dan hasil BER simulasi yang didapat sudah menunjukan adanya peningkatan dalam perubahan BER yang dihasilkan.

Tidak adanya penurunan yang signifikan pada sistem FBMC OQAM K-NN tanpa ZF disebabkan penggunaan kanal AWGN, dimana pada kanal AWGN sudah memiliki derau di dalamnya. Derau dalam kanal AWGN pada simulasi yaitu sebesar 5 dB, ditambah lagi dengan derau acak yang telah ditambahkan dalam simulasi. Sehingga derau yang dihasilkan akan semakin bertambah besar.



Gambar 12. Hasil keluaran perbandingan SNR vs BER sistem FBMC OQAM



Gambar 13. Hasil keluaran kapasitas kanal SISO kimulasi FBMC OQAM

C. Pengujian Kapasitas Kanal

Peningkatan kapasitas kanal sistem FBMC OQAM pada jenis komunikasi SISO dapat dilihat pada Gambar 13.

Berdasarkan Gambar 13 ditunjukan kapasitas kanal pada sistem SISO sudah mengalami peningkatan dari 0,9194 b/s/Hz hingga 5,132 b/s/Hz pada SNR 0 dB sampai 30 dB sehingga sudah mengikuti alur dari grafik teori kapasitas kanal Shannon. Peningkatan kanal yang terjadi sudah baik walaupun belum semaksimal kapasitas teori Shannon. Peningkatan kapasitas kanal yang belum semaksimal hasil teori ini, hal ini terjadi karena beberapa faktor yaitu penggunaan jenis antena SISO dan adanya derau yang bersifat acak dan belum dapat diminimalkan.

Penggunaan jenis antena SISO ini sangat mempengaruhi pengiriman dan penerimaan dari suatu transmisi data, dikarenakan hanya mengandalkan sebuah antena pengirim dan penerima tidak seperti sistem antena MIMO yang menggunakan lebih dari satu antena. Jika dibandingkan dengan antena MIMO jenis *spatial multiplexing*, maka jumlah kapasitas kanal akan sebanding dengan jumlah antena pengirimnya [12].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh, maka penelitian ini dapat menyimpulkan Sistem FBMC OQAM dengan menggunakan dengan KNN *demapper* yang disertai penggunaan algoritma pendeteksi simbol *Zero Forcing* mampu menekan nilai BER dibandingkan dengan sistem FBMC OQAM yang tidak menggunakan *Zero Forcing*. Hal ini dibuktikan oleh nilai BER pada FBMC OQAM ZF dengan K-NN *Demapper* mengalami penurunan nilai dari 0,4299 menjadi 0,002123 pada SNR 30 dB, dan untuk nilai BER pada sistem FBMC OQAM memiliki nilai BER sebesar 0,5132 dan 0,5204 pada SNR 30 dB. Penggunaan SNR dengan nilai yang semakin besar menghasilkan kerapatan pada diagram konstelasi kaitannya dengan pengelompokan data yang semakin baik. Semakin besar nilai SNR yang digunakan, kapasitas kanal yang dihasilkan dapat semakin meningkat, seperti pada hasil simulasi kapasitas kanal yang dihasilkan 0,9194 b/s/Hz pada SNR 0 dB menuju 5,132 b/s/Hz pada SNR 30 dB. Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan untuk mencoba meneliti pada bagian kapasitas kanal dan filter pada bagian sistesis *bank filter*, sehingga penelitian terkait FBMC OQAM dapat lebih disempurnakan kembali.

REFERENSI

[1] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

[2] T. Jiang, *OQAM/FBMC for future wireless communications: principles, technologies and applications*. London, United Kingdom: Academic Press, is an imprint of Elsevier, 2018.

[3] D. H. Morais, "Novel non-square, Gray coded, 64-QAM constellations," in *2015 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, San Diego, CA, USA, Jan. 2015, pp. 1-3.

[4] W. D. N. Pacheco and F. R. J. Lopez, "Tomato classification according to organoleptic maturity (coloration) using machine learning algorithms K-NN, MLP, and K-Means Clustering," in *2019 XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)*, Bucaramanga, Colombia, Apr. 2019, pp. 1-5.

[5] J. Huang, Y. Wei, J. Yi, and M. Liu, "An Improved kNN Based on Class Contribution and Feature Weighting," in *2018 10th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, Changsha, Feb. 2018, pp. 313-316.

[6] M. Manjusha and R. Harikumar, "Performance analysis of KNN classifier and K-means clustering for robust classification of epilepsy from EEG signals," in *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, Chennai, Mar. 2016, pp. 2412-2416.

[7] S. Taneja, C. Gupta, S. Aggarwal, and V. Jindal, "MFZ-KNN — A modified fuzzy based K nearest neighbor algorithm," in *2015 International Conference on Cognitive Computing and Information Processing(CCIP)*, Noida, India, Mar. 2015, pp. 1-5.

[8] A. K. Sarangi and A. Datta, "Capacity Comparison of SISO, SIMO, MISO & MIMO Systems," in *2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Erode, Feb. 2018, pp. 798-801.

[9] A. F. Isnawati, V. O. Citra, and J. Hendry, "Performance Analysis of Audio Data Transmission on FBMC - Offset QAM System," in *2019 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*, BALI, Indonesia, Jul. 2019, pp. 81-86..

[10] "ETSI TS 138 211 V15.2.0 (2018-07) Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15)." ETSI, Jul. 2018, [Online]. Available: http://www.etsi.org/standards-search.

[11] N. D. Lewis, *Machine learning made easy with R: an intuitive step by step blueprint for beginners*. Erscheinungsort nicht ermittelbar: AusCov, 2017.

[12] R. Hidayat, A.F Isnawati, and B. Setiyanto, "Channel estimation in MIMO-OFDM spatial multiplexing using Least Square method," in *2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS)*, Chiang Mai, Thailand, Dec. 2011, pp. 1–5.