

## ANALISIS PENGGUNAAN TEKNIK K-MEANS CLUSTERING SEBAGAI DEMAPPER SISTEM KOMUNIKASI FBMC-OQAM

Nisrina Hania Nabila, Anggun Fitriani Isnawati<sup>\*)</sup>, dan Mas Aly Afandi

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
Jl. D.I Panjaitan No. 128, Purwokerto 53147, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [anggun@ittelkom-pwt.ac.id](mailto:anggun@ittelkom-pwt.ac.id)

### Abstrak

Pada proses pengiriman data, sinyal yang diterima oleh penerima pasti tidak sama dengan sinyal yang dikirim oleh antenna pengirim. Pada penelitian ini, teknik *K-Means Clustering* diaplikasikan untuk proses pengembalian data *bit* sebagai fungsi demodulasi pada konstelasi *M-ary* yang sebelumnya telah terganggu oleh *noise* dan *fading* di jaringan pita lebar. Modulasi digital yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 16-QAM. Simulasi dilakukan pada kanal AWGN menggunakan teknik *Multicarrier Filter Bank Multicarrier Offset QAM (FBMC-OQAM)* dengan *equalizer Zero Forcing (ZF)* dan tanpa ZF. Kinerja dari *demapper k-means* yang dievaluasi menggunakan *silhouette coefficient* menghasilkan sistem FBMC-OQAM dengan menggunakan ZF memiliki kinerja lebih baik daripada sistem FBMC-OQAM tanpa menggunakan *equalizer ZF*. Nilai *bit error rate (BER)* pada FBMC-OQAM ZF untuk nilai *signal to noise ratio (SNR)* 0 dB hingga SNR 20 dB mengalami penurunan sebesar 0,3849, sedangkan pada FBMC-OQAM memiliki BER yang relatif stabil. Selain mengalami penurunan pada parameter BER, sistem FBMC-OQAM ZF mengalami peningkatan pada kapasitas kanal yang dihasilkan.

**Kata kunci:** *K-Means Clustering, Demapper, FBMC-OQAM, Zero Forcing, BER, SNR, Kapasitas Kanal.*

### Abstract

In data transmission process, the signal received by the receiver must not be the same as the signal sent by the transmitter. In this study, the K-means clustering technique is applied to the bit data return process as a demodulation function in the M-ary constellation which has previously been disturbed by noise and fading in broadband networks. The digital modulation used in this study is 16-QAM. The simulation is carried out on the AWGN channel using Filter Bank Multicarrier Offset QAM (FBMC-OQAM) technique with Zero Forcing (ZF) equalizer and without ZF. The performance of the k-means demapper was evaluated using the silhouette coefficient resulting in the FBMC-OQAM system using ZF having better performance than the FBMC-OQAM system without the use of an equalizer. Values of bit error rate (BER) of FBMC-OQAM ZF for values of signal to noise ratio (SNR) 0 dB to SNR 20 dB decreased by 0.3849, whereas FBMC-OQAM had relatively stable BER. Besides decreasing in the BER parameter, the FBMC-OQAM ZF system has increased the resulting channel capacity.

**Keywords:** *K-Means Clustering, Demapper, FBMC-OQAM, Zero Forcing, BER, SNR, Channel Capacity.*

## 1. Pendahuluan

Sistem komunikasi secara umum terdiri atas *transmitter* (pengirim), kanal transmisi, dan *receiver* (penerima). Pada jaringan komunikasi pita lebar, AWGN atau yang disebut dengan derau AWGN merupakan gangguan yang tidak dapat dihindarkan. Oleh sebab itu kualitas pengiriman data menurun, baik karena gangguan berupa adanya redaman, derau, kerusakan, maupun waktu tunda. Hal tersebut mempengaruhi kualitas sinyal pada sinyal analog dan kesalahan pada *bit* yang diterima pada sinyal digital. Pada transmisi digital terdapat tiga macam teknik dasar modulasi, yaitu *Amplitude Shift Keying (ASK)*, *Frequency Shift Keying (FSK)*, dan *Phase Shift Keying (PSK)* [1].

Dalam perkembangannya, terdapat modulasi *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)* yang merupakan kombinasi dari modulasi *Amplitude Shift Keying (ASK)* dan *Phase Shift Keying (PSK)*. *Quadrature Amplitude Modulation* dikenal sebagai modulasi digital yang mencapai *data rate* tinggi tanpa meningkatkan *bandwidth* sistem komunikasi nirkabel pita lebar (*broadband wireless*). Skema pengkodean simbol dan desain konstelasi sinyal merupakan dua langkah utama dalam meminimalkan BER di bawah batasan daya yang diberikan. Dalam pengiriman sinyal, sinyal yang dikirimkan oleh antenna pengirim pasti tidak sama dengan sinyal yang diterima oleh antenna penerima. Hal tersebut dapat dikarenakan, ketika tingkat modulasi dinaikkan maka ruang pada desain konstelasi untuk setiap

bit semakin kecil dan mengakibatkan sulitnya dalam proses pengelompokan bit pada sisi penerima.

Algoritma *K-Means Clustering* dikenal dengan *data mining* atau pengelompokan sejumlah data atau objek ke dalam grup atau kluster (*cluster*), yang mana dalam kluster tersebut akan berisi data yang semirip mungkin dan berbeda dengan objek dalam kluster lainnya [2]. Dengan kata lain teknik ini berusaha untuk meminimalkan variasi antar data yang ada didalam suatu kluster dan memaksimalkan variasi dengan data yang ada di kluster lainnya. Algoritma ini sering digunakan karena sifatnya yang relatif cepat dan mudah beradaptasi [3].

*Filter Bank Multicarrier - Offset Quadrature Amplitude Modulation* (FBMC-OQAM) merupakan teknik *multicarrier* pengembangan dari OFDM, dimana OFDM memiliki beberapa kekurangan antara lain, nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang besar, sulit untuk pengoprasian *Fast Fourier Transform* (FFT), serta sensitif terhadap *Carrier Frequency Offset* [4]. Adanya *offset* pada frekuensi *carrier* membuat penerima sulit untuk mendeteksi sinyal OFDM serta menyebabkan *frequency shifting* yang berakibat hilangnya ortogonalitas sinyal OFDM [5]. FBMC menambahkan filter pembentukan pulsa yang menghasilkan *sub-channel* yang teralokasi dalam domain waktu dan domain frekuensi. Selain itu FBMC memiliki lebih banyak sinyal penahan spektral dan menawarkan penggunaan sumber daya *bandwidth* yang lebih efektif sehingga dapat menghilangkan *Cyclic Prefix* [6]. Modulasi *offset QAM* dipilih karena memiliki kestabilan sistem lebih baik dari QAM konvensional, yaitu kuat terhadap efek dispersi serta mampu memperbaiki proses *decision* dan memiliki *bit rate* yang tinggi [7].

Pada sisi penerima, sinyal yang telah dimodulasi perlu dikembalikan ke bentuk semula, proses ini dinamakan *demapper*. *Demapper* digunakan untuk memetakan simbol-simbol FBMC yang keluar dari pasca pengolahan OQAM ke dalam desain kontelasi, pada penelitian ini menggunakan konstelasi 16-QAM untuk mendapatkan deretan bit digital. Modulasi 16-QAM artinya terdapat 16 variasi simbol dalam menerjemahkan bit-bit data, dimana tiap simbol terdiri atas empat bit. Penelitian sebelumnya menggunakan data masukan berupa citra *barcode* dengan metode *K-NN Clustering* [8]. Berdasarkan latar belakang tersebut maka pada penelitian ini melakukan analisis penggunaan teknik *K-Means Clustering* sebagai pengganti fungsi *demapper* pada sistem komunikasi FBMC-OQAM dengan input data masukan berupa sinyal audio menggunakan *Zero Forcing* sebagai ekualisasinya.

## 2. Metode

### 2.1. Alat dan Alur Penelitian

Penelitian ini mengimplementasikan teknik *K-Means Clustering* sebagai fungsi *demapper* pada sistem komunikasi FBMC-OQAM dengan modulasi digital 16-

QAM, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Penambahan *equalizer Zero Forcing* digunakan untuk membentuk sistem FBMC-OQAM ZF, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Bit Error Rate* (BER) dan kapasitas kanal digunakan sebagai parameter pengujian sistem. Model simulasi yang diimplementasikan dalam penelitian ini menggunakan program MATLAB R2016a. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap perancangan program, tahap pembuatan simulasi, tahap pengujian simulasi, dan yang terakhir adalah tahap analisis dari hasil pengujian simulasi.

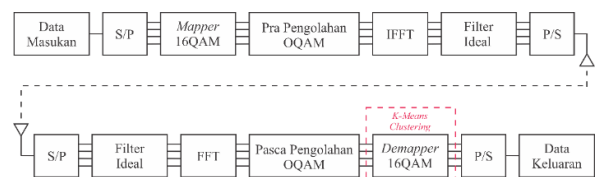
### 2.2. Parameter Simulasi

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

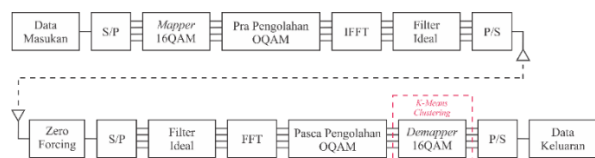
Tabel 1. Parameter Simulasi

Simbol	Parameter	Nilai
$n_{tx}$	Jumlah antenna pengirim	1
$n_{rx}$	Jumlah antenna penerima	1
M	Modulasi	16-QAM
ml	Jumlah level modulasi	4
fs	Frekuensi cuplik	22050 Hz

### 2.3. Permodelan Sistem FBMC-OQAM



Gambar 1. FBMC-OQAM menggunakan *K-Means Clustering* sebagai *Demapper*



Gambar 2. FBMC-OQAM *Zero Forcing* menggunakan *K-Means Clustering* sebagai *Demapper*

Berikut ini penjelasan dari bagan FBMC-OQAM.

1. Di sisi pengirim:

Data masukkan dalam simulasi ini berupa sinyal audio berformat \*.wav. Sinyal audio pada simulasi ini, memiliki frekuensi cuplik sebesar 22050 Hz. Sebelum sinyal diolah perlu adanya perubahan dari sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit atau bilangan biner. Bagan pengubah bit serial ke paralel ini berfungsi untuk mengubah bentuk dari data bit serial menjadi bentuk paralel dengan mengelompokkan bit-bit tersebut sesuai dengan level

modulasi yang digunakan. Pengiriman sinyal audio terdiri dari bit biner yang berjumlah 1024 bit. Ketika berubah menjadi bentuk paralel dengan modulasi 16-QAM menjadi 256 simbol, dimana masing-masing simbol terdiri dari empat bit. Hasil keluaran dari pengubah data serial ke paralel, selanjutnya dipetakan sesuai dengan modulasi dasar yang digunakan, yaitu 16-QAM. Proses pra pengolahan OQAM ini menerima input dari pemeta (*mapper*) 16-QAM yang kemudian dilakukan operasi *staggering*. *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) merupakan proses untuk mengubah sinyal dari domain frekuensi ke domain waktu, yang mana kebalikan dari metode Transformasi *Fourier*. Simbol keluaran dari IFFT kemudian dilewatkan menggunakan filter ideal. Pengubah paralel ke serial di sisi pengirim, berfungsi untuk mengubah keluaran dari filter ideal yang semula berbentuk data paralel menjadi bentuk serial. Kanal transmisi yang digunakan pada simulasi ini, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Pada kanal AWGN diasumsikan memiliki derau yang terdistribusi normal (*Gaussian*) dengan nilai rata-rata nol.

2. Di sisi penerima:

Deteksi simbol dilakukan untuk mendapatkan kembali data sinyal yang telah dikirimkan. Keluaran dari filter ideal dikalikan dengan proses transformasi *Fourier* (FFT) yang berfungsi untuk memisahkan kembali data informasi dengan sinyal *carrier*. Proses ini dapat juga disebut dengan proses demodulasi *multicarrier*. Blok pasca pengolahan OQAM merupakan kebalikan dari proses pra pengolahan OQAM. Proses *demapper* 16-QAM merupakan kebalikan dari proses *mapper* 16-QAM. Blok pengubah paralel menjadi serial berfungsi untuk mengubah bentuk bit yang semula berbentuk bit paralel menjadi bit serial. Dimana bit serial tersebut tersusun dari empat bit keluaran dari blok *demapper* 16-QAM. Di sisi penerima, bit-bit biner tersebut akan dikembalikan ke bentuk semula yaitu sinyal informasi berupa audio, yang mana hasilnya dapat digunakan untuk membandingkan bit yang diterima oleh *receiver* dengan bit yang dikirimkan pada sisi *transmitter* untuk mendapatkan nilai *bit error ratio* (BER). Semakin tinggi nilai BER menandakan kinerja sistem yang semakin buruk, karena informasi yang diterima mengalami banyak perubahan selama proses transmisi sinyal.

#### 2.4. Filter Bank Multi Carrier (FBMC)

FBMC mempunyai 2 proses di dalamnya, yaitu pra pemrosesan dan pasca pemrosesan. Proses pada pra pemrosesan FBMC bernama sintesis bank filter. Sedangkan pada pasca pemrosesan disebut sebagai analisis bank filter. Sintesis bank filter diletakkan pada proses pengiriman data tepatnya sesudah proses pra pengolahan OQAM. Sedangkan di sisi penerima proses analisis berada sebelum proses pasca pengolahan OQAM [6]. Pada skema OQAM, spektrum kanal yang berdekatan mengalami *overlap* tanpa mengakibatkan *crosstalk* antar *subcarrier*

dikarenakan penundaan setengah simbol waktu antara komponen *inphase* dan *quadrature* sinyal pada setiap *subcarrier*. *Crosstalk* digeser atau dipindahkan ke sampel genap pada saat simbol kompleks ditransmisikan dari sampel ganjil [6]. Sehingga terjadi pengurangan jarak kanal yang berdekatan pada *subcarrier* yang dapat mengurangi efek *Inter Carrier Interference* (ICI) maupun *Inter Symbol Interference* (ISI)[9][10].

Pada sisi penerima, sinyal yang telah dimodulasi perlu dikembalikan ke bentuk semula, proses ini dinamakan *demapper*. *Demapper* digunakan untuk memetakan simbol-simbol FBMC yang keluar dari pasca pengolahan OQAM ke dalam desain konstelasi 16-QAM.

#### 2.5. K-Means Clustering

Pada penelitian ini *K-Means Clustering* digunakan untuk menggantikan proses *demapper* yang berada di sisi penerima. Adapun standar 3GPP untuk proses pemetaan 16-QAM, yaitu [11]:

$$d(i) = \frac{1}{\sqrt{10}} \{ (1 - 2b(4i)) [2 - (1 - 2b(4i + 2))] + j(1 - 2b(4i + 1)) [2(1 - 2b(4i + 3))] \} \quad (1)$$

dimana  $b(4i)$ = bit pertama,  $b(4i+1)$ = bit kedua,  $b(4i+2)$ = bit ketiga,  $b(4i+3)$ = bit keempat.

Pada *k-means clustering* jarak setiap *centroid* dapat di hitung menggunakan teori *Euclidean Distance*, yang selanjutnya dapat disebut dengan jarak *Euclidean*. Ketika algoritma *K-Means Clustering* menggunakan jarak, maka akan menghasilkan kompleksitas waktu linier, sensitif terhadap *noise*, dan titik-titik eksterior dapat secara signifikan mempengaruhi rata-rata dalam setiap kluster. Kesamaan kluster diukur sebagai fungsi nilai rata-rata dari data poin, dalam sebuah kluster dapat dilihat sebagai *centroid*. Fungsi tersebut digunakan dalam teknik pengelompokan partisi merupakan kesalahan kuadrat yang cenderung bekerja dengan kluster yang terisolasi dan kompak. Kesalahan kuadrat untuk kluster dapat diwakili dengan  $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_k)$  dari kumpulan data  $(x_1, \dots, x_n)$  yang terdiri dari  $n$  pengamatan dari D-dimensi *Euclidean Distance* (*Squared*) sehingga menghasilkan [12]:

$$d_{(n,k)} = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (x_n - \mu_k)^2 \quad (2)$$

Metode *silhouette Coefficient* digunakan untuk mengukur kualitas dari sebuah kluster melalui pendeteksian seberapa baik letak objek dalam sebuah kluster [12]. Berikut persamaan untuk menghitung *silhouette coefficient*:

$$s_{(i)} = \frac{b_{(i)} - a_{(i)}}{\max(a_{(i)}, b_{(i)})} \quad (3)$$

Menurut Kaufman dan Rousseeuw nilai *silhouette coefficient* dikategorikan menjadi beberapa kriteria, yaitu [13][14]:

- Strong structure;  $0,7 < s_{(i)} \leq 1$
- Medium structure;  $0,5 < s_{(i)} \leq 0,7$
- Weak structure;  $0,25 < s_{(i)} \leq 0,5$
- No structure;  $s_{(i)} \leq 0,25$

**2.6. Zero Forcing (ZF)**

Zero Forcing (ZF) merupakan jenis algoritma deteksi simbol (*equalizer*) yang paling sederhana. Implementasi algoritma ini dengan menggabungkan **H** sebagai respon kanal dengan **W** sebagai respon dari ZF yang merepresentasikan proses linier pada penerima [15][16]:

$$WH = 1 \tag{4}$$

Untuk mendeteksi semua elemen yang diinginkan dari simbol data perlu adanya pemaksaan atau penginterferens *output* menjadi nilai nol. **W** merupakan matriks kebalikan atau kebalikan semu (*pseudo invers*, PI) dari kanal **H**, seperti ditunjukkan pada persamaan berikut [15][16]:

$$W_{ZF} = H^{-1} \text{ untuk } N_{TX} = N_{RX} \tag{5}$$

dimana  $N_{TX}$  jumlah antenna pengirim dan  $N_{RX}$  jumlah antenna penerima.

**2.7. Parameter Kinerja**

Bit Error Rate (BER) atau laju galat bit merupakan salah satu parameter dasar dan umum yang menunjukkan unjukkerja suatu sistem transmisi. Perhitungan BER digunakan untuk mengukur kualitas sinyal dengan cara membandingkan jumlah bit yang salah terhadap jumlah bit yang dikirim, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut [15]:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit salah}}{\text{Jumlah bit kirim}} \tag{6}$$

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan suatu ukuran yang menentukan kualitas sebuah sinyal yang telah terganggu oleh derau (*noise*). Perhitungan SNR menggunakan perbandingan daya suatu sinyal terhadap daya yang dimiliki oleh *noise*. Adapun hubungan antara daya sinyal dengan daya *noise* tampak pada persamaan berikut [15]:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{S}{N} \tag{7}$$

dimana *S* merupakan rata-rata daya sinyal (Watt) dan *N* merupakan daya *noise* (Watt). Persamaan tersebut memiliki kesimpulan bahwa semakin kecil nilai *noise* yang terkena sinyal menghasilkan nilai SNR yang besar. Semakin besar nilai SNR yang dihasilkan maka semakin baik kualitas sinyal yang dihasilkan.

Selama proses transmisi kanal *wireless*, derau AWGN menjadi pengganggu yang tidak dapat dihindari. Oleh

sebab itu penentuan batas *bit rate* penting untuk mengetahui jumlah maksimum informasi yang dapat terkirim dari *transmitter* sampai *receiver*. Kapasitas kanal pada sistem antenna *single input single output* (SISO) dapat dihitung menggunakan teori *Shannon* sebagai berikut [15]:

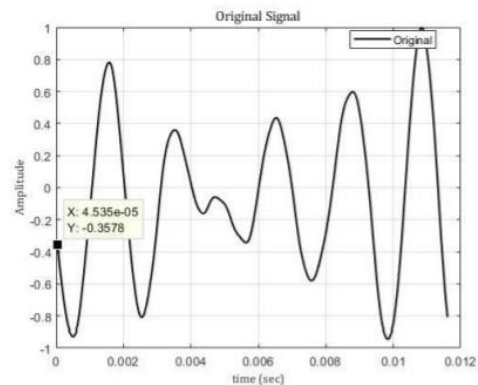
$$C = \log_2(1 + SNR) \tag{8}$$

dengan *C* adalah kapasitas kanal (bit/Hz)

**3. Hasil dan Analisis**

**3.1. Pengujian Tahap Simulasi**

Simulasi ini menggunakan data masukan berupa *file* audio dengan format *file* \*.wav yang memiliki frekuensi cuplik sebesar 22050 Hz atau sekitar 5,6 detik. Sinyal ini memiliki amplitudo ternormalisasi yakni antara nilai -1 Volt sampai dengan 1 Volt, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3



**Gambar 3. Data Masukkan**

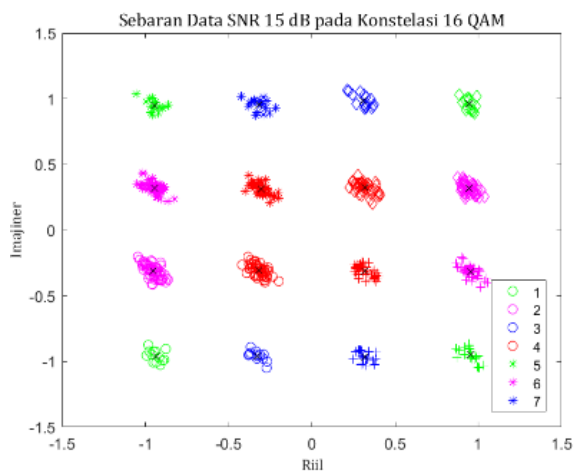
Sinyal analog ini perlu diproses menjadi bilangan biner agar *file* audio dapat ditransmisikan ke penerima. Hal tersebut dilakukan dengan menambahkan amplitudo 1 untuk menghasilkan nilai positif.

16x2 double				ctrls	
	1	2	3	4	
1	-0.9370	-0.9577			
2	-0.9521	-0.3141			
3	-0.3264	-0.9585			
4	-0.3171	-0.3079			
5	-0.9453	0.9494			
6	-0.9433	0.3184			
7	-0.3201	0.9528			
8	-0.3058	0.3144			
9	0.9557	-0.9505			
10	0.9558	-0.3156			
11	0.3193	-0.9685			
12	0.3197	-0.3131			
13	0.9452	0.9584			
14	0.9435	0.3170			
15	0.3093	0.9819			
16	0.3171	0.3215			

**Gambar 4. Centroid**

Pada penerapan *K-Means Clustering* sebagai *Demapper* 16-QAM, setiap simbol berupa bilangan kompleks keluaran dari pasca pengolahan OQAM dipetakan kembali ke simbol awal. Sebelum simbol dipetakan kembali, perlu melakukan proses tambahan berupa pemisahan bilangan riil dan imajiner pada bilangan kompleks. Kemudian pemilihan titik pusat dari keenambelas klaster (*centroid*) secara acak menggunakan pedoman konstelasi sesuai persamaan (1), sehingga dihasilkan koordinat *centroid* sebagaimana terlihat pada Gambar 4.

Teknik *K-Means Clustering* ini menggunakan perhitungan jarak *Euclidean (Square)* untuk memetakan tiap titik simbol kedalam 16 klaster (16-QAM). Hasil pengelompokan didapatkan dari nilai jarak terkecil antara data simbol ke setiap klaster. Berdasarkan hasil proses pengujian secara simulasi, maka visualisasi dari penerapan *k-means* sebagai fungsi *demapper* tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Sebaran Data Pada 16 Klaster

Kemudian analisis *silhouette* digunakan untuk merepresentasikan seberapa baik tiap titik simbol berada di dalam klasternya dimana pengukuran ini memiliki kisaran  $[-1, 0, +1]$ . Jika nilai koefisien mendekati -1, maka titik simbol tersebut berada di klaster yang salah. Begitupun sebaliknya, jika nilai koefisien mendekati +1 maka titik simbol tersebut sudah berada di klaster yang tepat. Berbeda halnya dengan nilai koefisien yang mendekati 0 yang menunjukkan titik simbol tersebut berada di antara dua klaster. Proses perhitungan koefisien *silhouette* dilakukan dengan menghitung jarak data simbol terhadap setiap data yang berada di klaster yang sama untuk memperoleh nilai  $a_{(i)}$ . Kemudian menghitung rata-rata jarak antara data simbol dengan data simbol lain yang berada pada klaster berbeda ( $d_{(i,C)}$ ). Lanjutkan perhitungan rata-rata jarak data simbol dengan semua data di klaster berbeda hingga klaster 16, kemudian ambil nilai rata-rata jarak yang terkecil sebagai  $b_{(i)}$ .

Tabel 2. *Silhouette K-Means Clustering* pada FBMC-OQAM ZF SNR 15 dB

Cluster	Jumlah Data Simbol	Silhouette
1	13	0,9872
2	56	0,9733
3	13	0,9830
4	49	0,9758
5	14	0,9757
6	49	0,9762
7	18	0,9718
8	41	0,9734
9	22	0,9775
10	48	0,9771
11	20	0,9830
12	49	0,9795
13	15	0,9841
14	47	0,9833
15	17	0,9728
16	41	0,9750

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan bernilai 0,9762, sehingga dalam pengujian ini dapat dikatakan semua data simbol sudah berada di klaster yang tepat dengan kualitas klaster yang sangat baik karena  $s_{(i)}$  berada pada rentang *strong structure*. Selanjutnya data pengelompokan ini diubah menjadi bentuk 4 bit bilangan biner dengan menyesuaikan hasil pengelompokan *K-Means Clustering*.

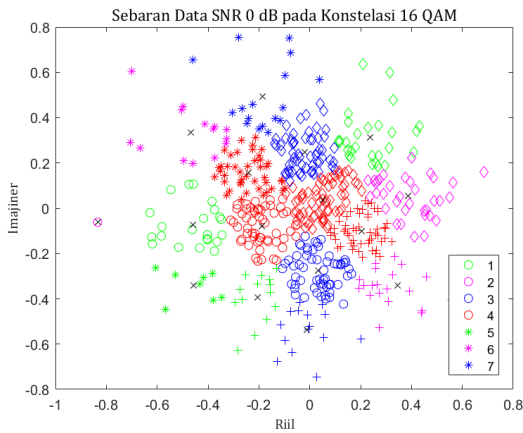
### 3.2. Pengujian *K-Means Clustering* Sebagai *Demapper* 16-QAM

#### 3.2.1. Sistem FBMC-OQAM

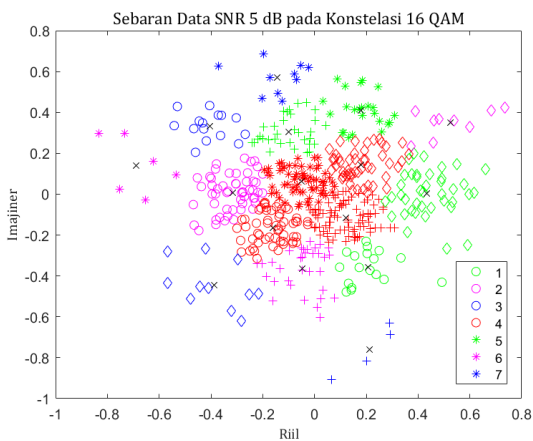
Pengujian teknik *K-Means Clustering* sebagai fungsi *demapper* 16-QAM menggunakan analisis *silhouette* untuk menginterpretasi dan validasi apakah data simbol sudah dipetakan dalam klaster atau konstelasi yang tepat. Hasil rata-rata *silhouette* pada *k-means* di sistem FBMC-OQAM menunjukkan ketika nilai SNR 0 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,4668. Saat SNR bernilai 5 dB rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,4996. Kemudian pada saat SNR bernilai 10 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,4739. Selanjutnya pada nilai SNR 15 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,4959. Sedangkan pada nilai SNR 20 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,4968. Kinerja pengelompokan *k-means* dapat dilihat dari rata-rata *silhouette* yang dihasilkan. Pada sistem FBMC-OQAM data simbol yang memiliki kesamaan dapat terkelompok cukup baik, hanya saja struktur yang terbentuk kurang baik. Hal tersebut dikarenakan posisi tiap data simbol dalam pengelompokan ini masih lemah, dimana nilainya sudah melebihi 0 tetapi masih jauh dari 1.

Tampak pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 10 bahwa antara klaster satu dengan lainnya memiliki jarak yang berdekatan, oleh sebab itu data simbol yang dipetakan masih berada di ambang benar dan salah dan nilai rata-rata dari *silhouette* yang dihasilkan masih jauh dari kata baik. Pembagian klaster dan titik pusat massa (*centroid*) dari

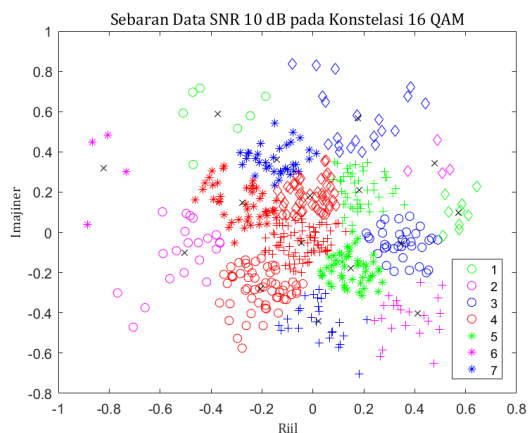
hasil simulasi FBMC-OQAM ditunjukkan pada gambar-gambar berikut.



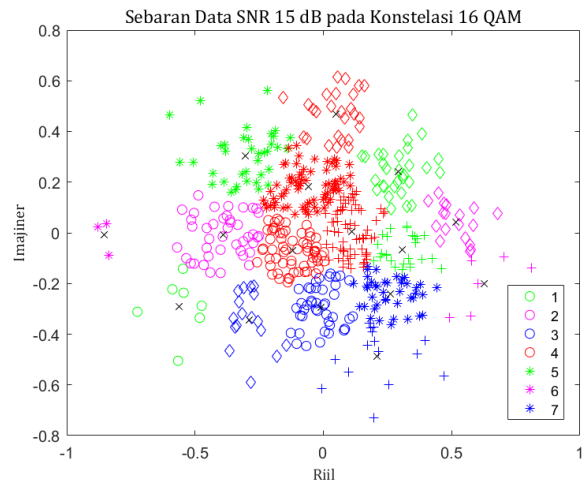
Gambar 6. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM SNR 0 dB



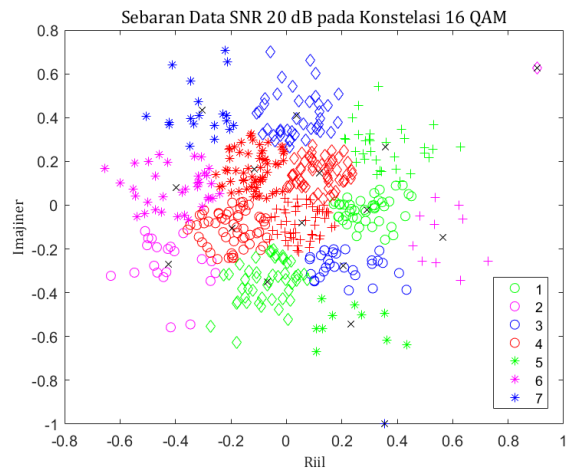
Gambar 7. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM SNR 5 dB



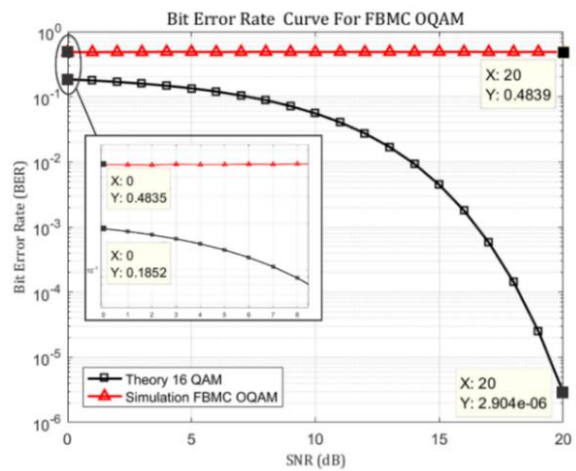
Gambar 8. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM SNR 10 dB



Gambar 9. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM SNR 15 dB



Gambar 10. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM SNR 20 dB

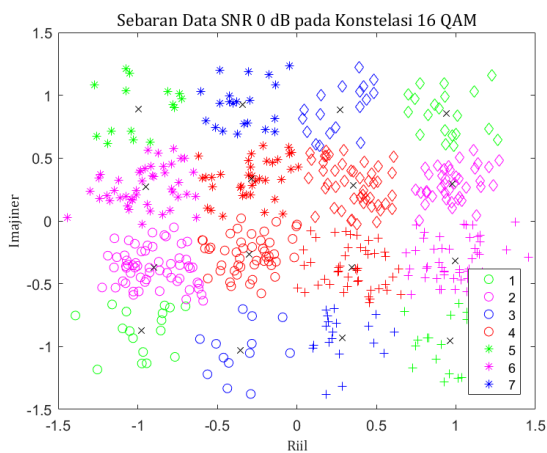


Gambar 11. Perbandingan BER vs SNR FBMC-OQAM

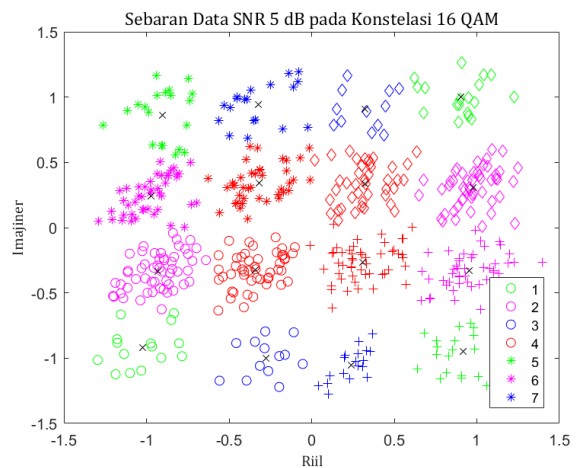
### 3.2.2. Sistem FBMC-OQAM Zero Forcing

Pengujian teknik *K-Means Clustering* sebagai fungsi *demapper* 16-QAM di sistem FBMC-OQAM dengan *Zero Forcing* artinya sistem ini diberikan penambahan *equalizer* pada sisi *receiver*, dimana jenis *equalizer* yang digunakan berupa *Zero Forcing*. Simulasi ini masih menggunakan analisis *silhouette* untuk menginterpretasi dan validasi apakah data simbol sudah dipetakan dalam kluster atau konstelasi yang tepat. Hasil rata-rata *silhouette* pada *K-Means Clustering* menunjukkan semakin tinggi SNR yang digunakan, maka semakin tinggi nilai rata-rata *silhouette* yang dihasilkan. Berbeda dengan penerapan *K-Means Clustering* di sistem sebelumnya yang tanpa menggunakan deteksi simbol (*equalizer*) pada sisi penerima, di sistem ini dapat melakukan pengelompokan data simbol maupun klusterisasi konstelasi yang sesuai dengan skema modulasi 16-QAM. Pembagian kluster dan titik pusat massa (*centroid*) dari hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar berikut.

Berdasarkan Gambar 12 dan Gambar 13, dapat diketahui bahwa dalam simulasi *K-Means Clustering* pada FBMC-OQAM ZF dapat mengelompokkan data simbol sesuai dengan skema konstelasi untuk modulasi 16-QAM, dimana pencarian dan pengelompokkan data simbol sudah dilakukan secara baik. Tetapi sebaran data simbol antara kluster satu dengan lainnya masih berdekatan. Hal ini mempengaruhi kualitas dari *K-Means Clustering* yang dihasilkan, dimana saat nilai SNR 0 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan 0,5722 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12. Kemudian saat SNR bernilai 5 dB rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,9282 seperti pada Gambar 13. Pembagian *Cluster* dan *Centroid* FBMC-OQAM ZF saat SNR 0 dB berbeda dengan saat SNR 5 dB dimana rata-rata *silhouette* yang dihasilkan menunjukkan hasil pengelompokkan sudah memiliki struktur kluster yang kuat.

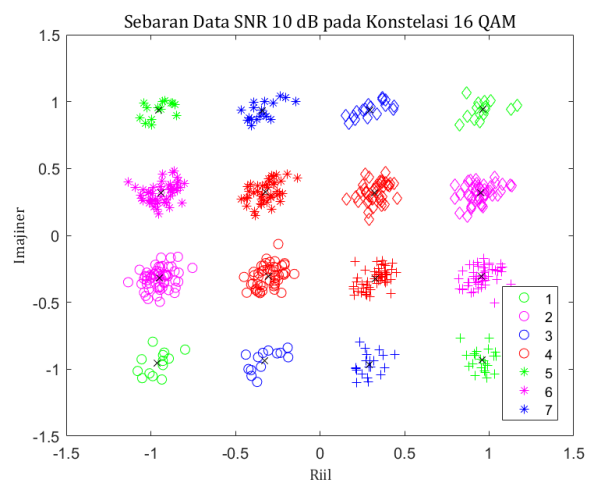


Gambar 12. Pembagian *Cluster* dan *Centroid* FBMC-OQAM ZF SNR 0 dB

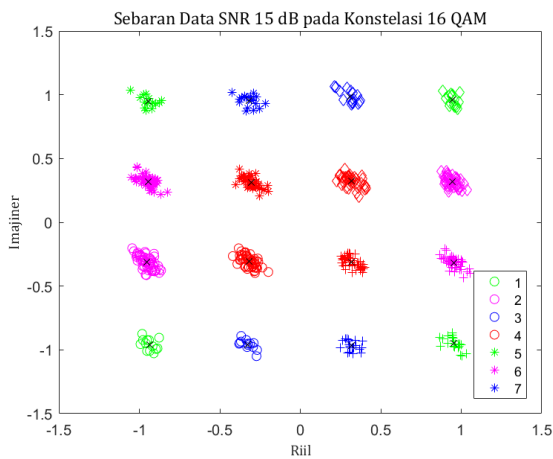


Gambar 13. Pembagian *Cluster* dan *Centroid* FBMC-OQAM ZF SNR 5 dB

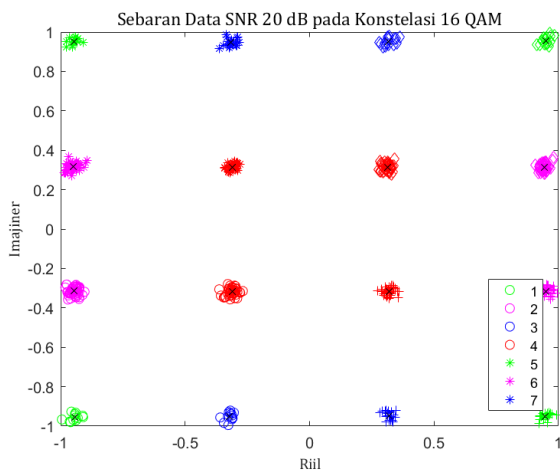
Berdasarkan Gambar 14 hingga Gambar 16, dapat diketahui bahwa dalam simulasi penerapan *K-Means Clustering* untuk melakukan pencarian dan pengelompokkan data simbol sudah dilakukan secara optimal yang ditandai dengan hasil kluster yang kompak dan terpisah. Satu kluster dikatakan kompak jika poin anggotanya memiliki jarak yang kecil satu sama lain. Dua atau lebih kelompok dipisahkan dengan baik hanya jika poin antar anggota memiliki jarak yang jauh satu sama lain. Hal tersebut dibuktikan oleh rata-rata *silhouette* yang dihasilkan. Pada saat nilai SNR 10 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,9282. Selanjutnya pada nilai SNR 15 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,9771. Sedangkan pada nilai SNR 20 dB, rata-rata *silhouette* yang dihasilkan sebesar 0,9965.



Gambar 14. Pembagian *Cluster* dan *Centroid* FBMC-OQAM ZF SNR 10 dB



Gambar 15. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM ZF SNR 15 dB

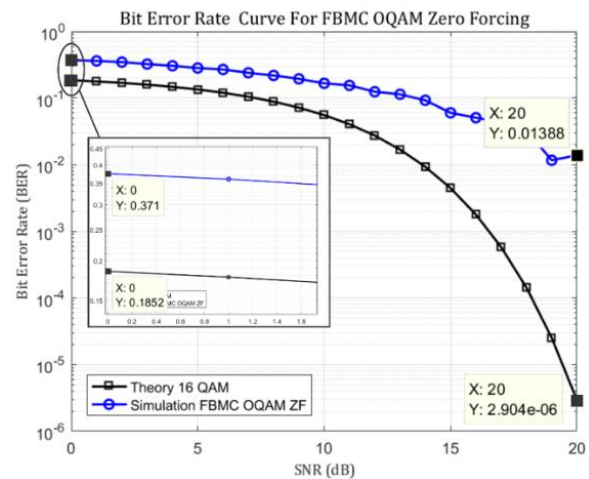


Gambar 16. Pembagian Cluster dan Centroid FBMC-OQAM ZF SNR 20 dB

Rata-rata *silhouette* yang dihasilkan termasuk kategori sangat baik karena memiliki struktur kluster yang kuat, dimana nilainya sudah mendekati +1 yang berarti data simbol tersebut dapat dikatakan berada di kluster yang tepat. Selain itu jarak antar *centroid* satu dengan lainnya sudah sesuai dengan hasil pengukuran pada skema konstelasi 16-QAM. Data tersebut dapat disimpulkan semakin besar nilai SNR, maka semakin jauh jarak antar anggota kluster satu dengan kluster lainnya. Selain itu sebaran data simbol dari setiap kluster semakin mendekati *centroid*, sehingga kinerja dari pengelompokan *K-Means Clustering* semakin baik yang ditandai oleh hasil *silhouette* mendekati nilai +1. Perbandingan BER dari hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 17.

Berdasarkan perbandingan BER dengan SNR penerapan *K-Means Clustering* sebagai demapper 16-QAM di sistem FBMC-OQAM ZF yang ditunjukkan pada Gambar 17, dapat diketahui bahwa pada BER simulasi terjadi

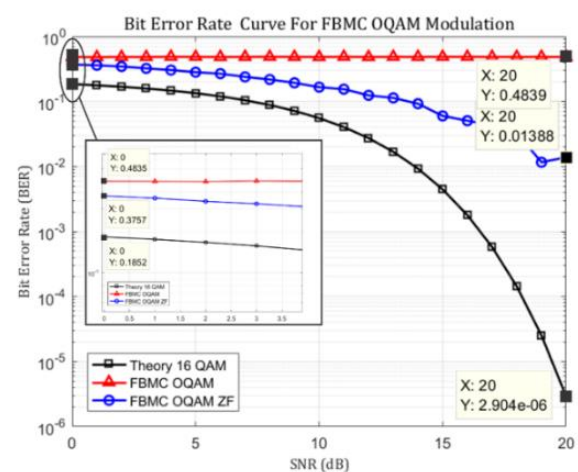
penurunan nilai BER. Walaupun penurunan BER simulasi penerapan *k-means* tidak semaksimal BER teori, namun hasil BER yang didapatkan sudah menunjukkan adanya peningkatan sistem transmisi informasi dengan penurunan nilai BER. Hal itu ditunjukkan ketika nilai SNR 0 dB, nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,371. Sedangkan pada nilai SNR 20 dB, nilai BER yang di hasilkan sebesar 0,01388. Penurunan terjadi karena *equalizer ZF* mengembalikan sinyal asli yang telah diterima oleh antenna *receiver* meskipun sinyal tersebut telah tercampur dengan derau AWGN.



Gambar 17. Perbandingan BER dengan SNR FBMC-OQAM ZF

### 3.2.3. Perbandingan BER FBMC-OQAM dan FBMC-OQAM ZF

Perbandingan unjuk kerja antara sistem FBMC-OQAM dengan sistem FBMC-OQAM *Zero Forcing* dapat diketahui dari hasil grafik perbandingan SNR terhadap BER pada Gambar 18.



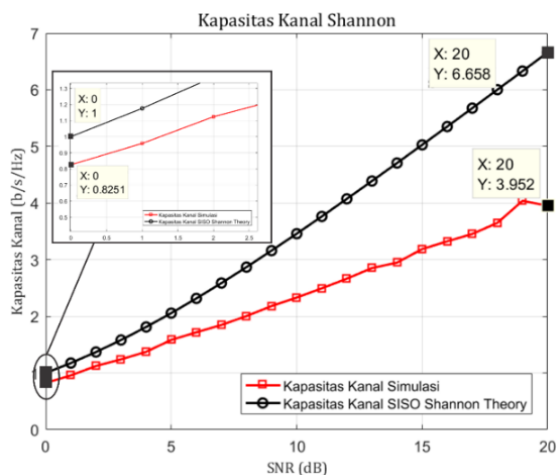
Gambar 18. Perbandingan BER FBMC-OQAM dan FBMC-OQAM ZF



Berdasarkan grafik tersebut, unjuk kerja yang dihasilkan dari sistem FBMC-OQAM ZF memiliki penurunan nilai BER simulasi yang cukup baik. Penurunan BER yang terjadi pada sistem FBMC-OQAM ZF membuktikan bahwa peningkatan nilai SNR dapat berpengaruh terhadap nilai BER yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena algoritma ZF pada sisi *receiver* mampu mengembalikan sinyal asli yang telah dikirimkan meskipun sudah tercampur dengan derau. Sedangkan, pada sistem FBMC-OQAM tidak dapat menunjukkan penurunan BER yang signifikan karena sinyal yang diterima oleh antena *receiver* mengandung banyak derau didalamnya. Sehingga, peningkatan SNR yang dilakukan untuk memperbaiki unjukkerja BER pada FBMC-OQAM tidak dapat bekerja dengan baik.

### 3.2.4. Pengujian Kapasitas Kanal

Pada simulasi ini pengujian kapasitas kanal menggunakan kanal AWGN pada sistem FBMC-OQAM di jenis antena komunikasi SISO dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Kapasitas Kanal

Pada Gambar 19 terlihat bahwa kapasitas kanal pada penerapan *K-Means Clustering* sebagai *demapper* 16-QAM memiliki nilai 0,8251 bps/Hz untuk SNR bernilai 0 dB, sedangkan saat nilai SNR 20 dB kapasitas kanal yang dihasilkan sebesar 3,952 bps/Hz. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kapasitas kanal mengalami peningkatan dari SNR 0 dB sampai SNR 20 dB sebesar 3,1269 bps/Hz.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dapat disimpulkan bahwa penerapan *K-Means Clustering* pada *demapper* dapat dilakukan dengan menambahkan pedoman konstelasi 16-QAM sebagai acuan untuk membuat titik pusat massa (*centroid*) dari setiap kelompok (*cluster*) tidak berubah secara acak. Penggunaan SNR berpengaruh terhadap hasil data simbol yang dikelompokkan, dimana semakin tinggi SNR yang digunakan maka sebaran data pada setiap

kelompok semakin mendekati titik pusat massa (*centroid*) kelompoknya. Pada sistem FBMC-OQAM menggunakan ZF mampu menekan nilai BER yang dihasilkan menjadi lebih baik daripada sistem FBMC-OQAM tanpa ZF. Kapasitas kanal berbanding lurus dengan SNR, semakin besar nilai SNR yang digunakan maka semakin meningkat kapasitas kanal yang dihasilkan.

## Referensi

- [1]. E. A. Fernandez, J. J. G. Torres, A. M. C. Soto, and N. G. González, "Demodulation of m-ary non-symmetrical constellations using clustering techniques in optical communication systems," *2016 IEEE Lat. Am. Conf. Comput. Intell. LA-CCI 2016 - Proc.*, no. 53, pp. 0–5, 2017.
- [2]. J. Wang, J. Wang, J. Song, X. S. Xu, H. T. Shen, and S. Li, "Optimized Cartesian K-means," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 27, no. 1, pp. 180–192, 2015.
- [3]. M. Krishnamoorthi and A. M. Natarajan, "ABK-means: An algorithm for data clustering using ABC and K-means algorithm," in *International Journal of Computational Science and Engineering*, 2013, vol. 8, no. 4, pp. 383–391.
- [4]. T. Gayathri and K. Bavithra, "Peak to average power ratio reduction of OFDM system," *2014 Int. Conf. Inf. Commun. Embed. Syst. ICICES 2014*, no. 978, 2015.
- [5]. P. Kansal and A. K. Shankhwar, "FBMC vs OFDM Waveform Contenders for 5G Wireless Communication System," *Wirel. Eng. Technol.*, vol. 08, no. 04, pp. 59–70, 2017.
- [6]. A. F. Isnawati, V. O. Citra, and J. Hendry, "Performance analysis of audio data transmission on FBMC-offset QAM system," *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Ind. 4.0, Artif. Intell. Commun. Technol. IAICT 2019*, pp. 81–86, 2019.
- [7]. S. Kaur, L. Kansal, G. S. Gaba, and N. Safarov, "Survey of Filter Bank Multicarrier ( FBMC ) as an efficient waveform for 5G," vol. 118, no. 7, pp. 45–49, 2018.
- [8]. C. Sabani, A. F. Isnawati, and M. A. Afandi, "Analisis Unjuk Kerja Sistem FBMC OQAM Menggunakan K-NN Clustering Sebagai Pengganti Demapper," *JTERA J. Teknol. Rekayasa*, vol. 5, no. 2, p. 175, Dec. 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.175-184.
- [9]. W. Khrouf, M. Siala, and F. Abdelkefi, "How Much FBMC/OQAM Is Better than FBMC/QAM? A Tentative Response Using the POPS Paradigm," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2018, no. December 2017, 2018.
- [10]. M. H. Arasy *et al.*, "FBMC vs OFDM Waveform Contenders for 5G Wireless Communication System," *Wirel. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 7, pp. 1–7, 2017.
- [11]. TSGR, "TS 138 211 - V15.3.0 - 5G; NR; Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 15.3.0 Release 15)," vol. 0, 2018.
- [12]. S. Kapil, M. Chawla, and M. D. Ansari, "On K-means data clustering algorithm with genetic algorithm," in *2016 4th International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing, PDGC 2016*, 2016, pp. 202–206.
- [13]. A. Mario, S. Herry, and H. Nasution, "Pemilihan Distance Measure Pada K-Means Clustering Untuk Pengelompokan Member Di Alvaro Fitness," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2016.

- [14]. G. A. Pradnyana and A. A. J. Permana, "Sistem Pembagian Kelas Kuliah Mahasiswa Dengan Metode K-Means Dan K-Nearest Neighbors Untuk Meningkatkan Kualitas Pembelajaran," *JUTI J. Ilm. Teknol. Inf.*, vol. 16, no. 1, p. 59, 2018.
- [15]. A. F. Isnawati, "Unjukkerja Sistem MIMO-OFDM Penjamakan Spasial Menggunakan Estimasi Kanal," Universitas Gajah Mada, 2011.
- [16]. B. Kamislioglu and A. Akbal, "ZF and MMSE application for FBMC-QAM," *IDAP 2017 - Int. Artif. Intell. Data Process. Symp.*, no. 1, pp. 1–5, 2017.