

FILTER BANK MULTICARRIER (FBMC) UNTUK 5G

Gradiyanto Jason¹, Theresia Ghozali^{2*}, Kumala Indriati³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Jakarta, Indonesia

²theresia.ghozali@atmajaya.ac.id*, ³kumala.indriati@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Saat ini, teknologi pada bidang telekomunikasi berkembang dengan pesat. Pengguna telekomunikasi membutuhkan teknologi komunikasi yang cepat dengan *bandwidth* yang lebih lebar. Oleh karena itu dikembangkanlah *Filter Bank Multi Carrier/Offset Quadrature Amplitude Modulation* yang merupakan teknologi kandidat modulasi yang akan digunakan pada 5G.

Filter Bank Multi Carrier/Offset Quadrature Amplitude Modulation (FBMC/OQAM) merupakan perkembangan dari *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) yang dimodifikasi dengan menggunakan filter untuk mengurangi *noise*. OFDM menggunakan teknik *multiplexing* yang membagi *bandwidth* menjadi beberapa frekuensi *sub-carrier*. Tetapi OFDM memiliki kelemahan yaitu memerlukan *Cyclic Prefix* (CP) untuk mengatasi *Intersymbol Interference* (ISI) serta *Intercarrier Interference* (ICI). Dengan menggunakan *Filter Physical layer for dynamic spectrum access and cognitive radio* (PHYDYAS), penggunaan *cycle prefix* dapat dihilangkan.

Penelitian ini menunjukkan penggunaan filter PHYDIAS pada pemancar (Analisis) dan pada Penerima (Sintesis) tidak mengganggu *modulator baseband* IFFT dan FFT, dan hasil yang dicapai adalah FBMC berhasil diterapkan dan data yang dikirim sama dengan data yang diterima. *Power spectrum density* tidak ditampilkan akan ditampilkan pada penelitian berikutnya.

Kata kunci: FBMC, OQAM, OFDM, 5G

ABSTRACT

Currently, technology in the telecommunications sector is developing rapidly. Telecommunication users need fast communication technology with wider bandwidth. Therefore, FBMC / OQAM was developed, which is a modulation candidate technology to be used in 5G.

FBMC / OQAM is a development of OFDM which is modified by using filters to reduce noise. OFDM uses a multiplexing technique that divides bandwidth into several sub-carrier frequencies. But OFDM has a weakness, because it requires a Cyclic Prefix (CP) to overcome Inter-symbol Interference (ISI) and Intercarrier Interference (ICI). With FBMC, the increased bandwidth due to the Cyclic prefix can be reduced. By using the Physical layer filter for dynamic spectrum access and cognitive radio (PHYDYAS), the use of cycle prefixes can be eliminated. This research is to show that the use of the PHYDIAS filter on the transmitter (Analysis) and the receiver (Synthesis) does not interfere with the IFFT and FFT baseband modulator, and the results achieved are that FBMC is successfully applied and the data sent is the same as the received data. Power spectrum density not shown will be shown in future studies.

Keywords: FBMC, OQAM, OFDM, 5G

PENDAHULUAN

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) telah mendominasi sebagai metode pensinyalan yang paling populer sampai saat ini. OFDM merupakan suatu teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*) [1]. OFDM telah dijadikan sebagai mayoritas standar nirkabel, misalnya, variasi dari IEEE 802.11 dan IEEE 802.16, *3G-LTE*, dan *LTE-Advanced*. OFDM dikenal sebagai pilihan yang sempurna untuk komunikasi *point-to-point*, misalnya, dari *base station* ke *mobile node* dan sebaliknya. Teknik ini menawarkan kompleksitas minimal dan pencapaian efisiensi *bandwidth* yang tinggi. Tetapi karena adanya *Inter-symbol Interference* (ISI) dan *Intercarrier Interference* (ICI) diperlukan *Cyclic Prefix* (CP) mengakibatkan *bandwidth* yang diperlukan menjadi lebih besar.

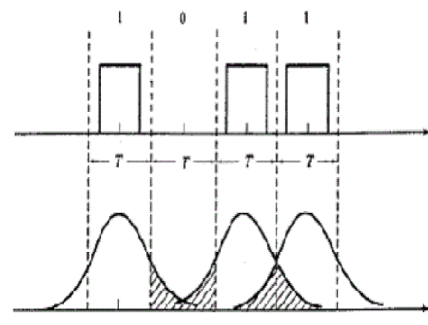
Filter Bank Multicarrier (FBMC) adalah filter yang dikembangkan untuk sistem *multicarrier* menggunakan modulasi *Offset Quadrature Amplitude Modulation* (OQAM) untuk mengurangi ISI. Dengan filter FBMC, masing-masing *subcarrier* akan ditapis sesuai frekuensi *subcarrier* tersebut, sehingga tidak diperlukan lagi *Cyclic prefix* [9]. FBMC yang akan disimulasikan dengan MATLAB adalah *Physical layer filter for dynamic spectrum access and cognitive radio* (PHYDYAS). Tujuan penelitian ini memperlihatkan sinyal dapat dikirim dan diterima dengan baik dengan menggunakan filter PHYDYAS pada pemancar dan penerima.

TEORI DASAR

A. *Orthogonal Frequency Multiple Access* (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing merupakan teknik modulasi frekuensi *multicarrier* untuk sistem komunikasi *wireless broadband*. Teknik ini menggunakan *multiplexing* yang membagi *bandwidth* menjadi beberapa frekuensi *sub-carrier*. Konsep *multicarrier* ini dikembangkan guna menciptakan sistem yang mampu bekerja pada laju data yang tinggi serta terbebas dari pengaruh *Intersymbol Interference* (ISI). *Intersymbol interference* sendiri terjadi karena ada *spreading* suatu bit data sehingga energinya akan mengganggu bit lain, yang berakibat suatu simbol yang diterima dapat mengalami salah interpretasi pada penerima.

Karena data bit yang menggunakan skema OFDM dapat terkirim dengan kecepatan tinggi, maka data yang dikirimkan dan yang diterima oleh penerima tergantung jarak lintasan yang ditempuh. *Impulse* yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima menjadi sebuah pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *delay spread*. *Delay spread* merupakan suatu *interval* ukuran *delay* masing-masing lintasan yang dilewati sinyal dengan nilai penguatan atau peredaman tertentu. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol, karena setiap



Gambar 1. *Intersymbol Interference* [2]

simbol saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Hal ini yang menyebabkan ISI tak terhindarkan.

Maka dalam sistem OFDM, aliran data yang berkecepatan tinggi tersebut dibagi menjadi aliran data yang lebih lambat secara paralel. Masing-masing aliran data yang dikirimkan dimodulasi dengan *sub-carrier*. Teknik ini bertujuan untuk menghemat *bandwidth* pada kanal sistem komunikasi. *Sub-carrier* harus saling ortogonal dan terpisah untuk memperoleh spektrum frekuensi yang efisien dan terbebas dari *Intercarrier Interference (ICI)*. ICI terjadi karena adanya transmisi dengan sistem *multicarrier* sehingga terdapat interferensi dari *carrier* yang berdekatan.

Dalam sistem OFDM, pembentukan dan penguraian symbol dilakukan dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)* dan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Data yang ditransmisikan berupa data serial biner berkecepatan tinggi yang telah di petakan dalam bentuk simbol, simbol tersebut yang mulanya serial kemudian dipecah atau dipisahkan menjadi bentuk paralel sehingga dihasilkan kecepatan data yang lebih rendah dibanding dengan data sebelumnya.

B. FFT dan IFFT

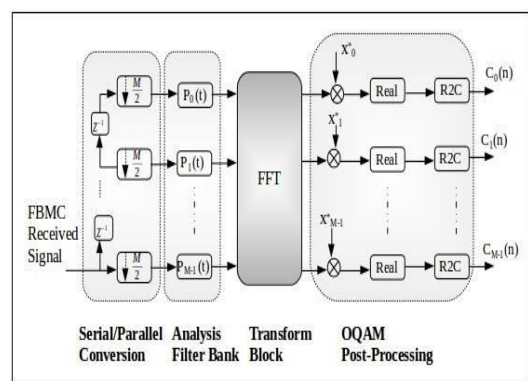
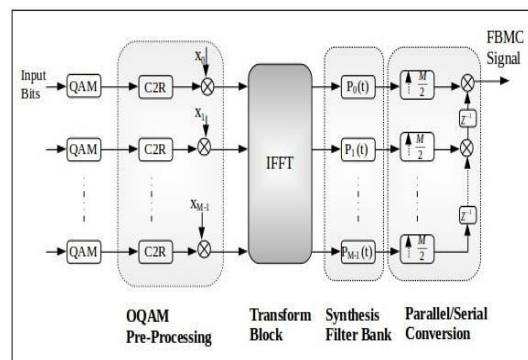
Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) dan *Fast Fourier Transform (FFT)* merupakan hal yang berkaitan dengan OFDM. IFFT berfungsi sebagai *modulator multicarrier* untuk OFDM, sedangkan FFT sendiri sebagai *demodulator multicarrier* dari OFDM.

Karena OFDM memiliki karakteristik yang *orthogonal*, maka OFDM menghasilkan tingkat efisiensi yang tinggi dalam pemakaian frekuensi. Selain itu, OFDM hanya memerlukan FFT dan IFFT sehingga tak membutuhkan banyak modulator.

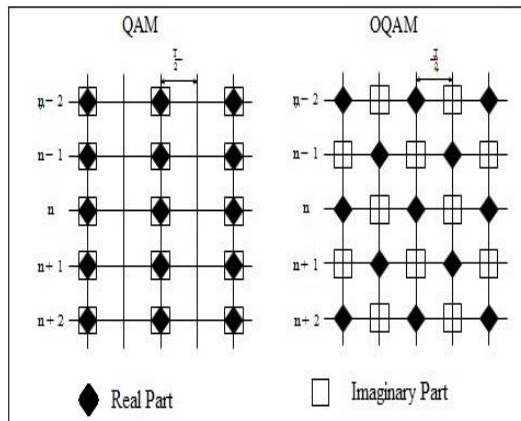
C. Filter Bank Multicarrier/Offset Quadrature Amplitude Modulation (FBMC/OQAM)

Blok diagram pengirim dan penerima dapat dilihat pada Gambar 2. Pada bagian pemancar, masukan dalam bentuk serial bit, akan diubah menjadi paralel bit dengan kecepatan bit yang lebih rendah. Kemudian bit pada *subcarrier* akan dimodulasi dengan modulasi OQAM. Simbol OQAM kemudian melewati proses FFT dan terakhir melewati filter PHYDIAS.

Dari diagram konstelasi pada Gambar 3 terlihat 1 simbol OQAM terdiri dari bagian *Real* dan bagian imajiner yang berbeda waktu sebesar perioda simbol per dua. Bagian *Real* berada pada posisi ganjil dan bagian imajiner berada pada posisi genap.



Gambar 2. Blok Diagram FBMC [4]



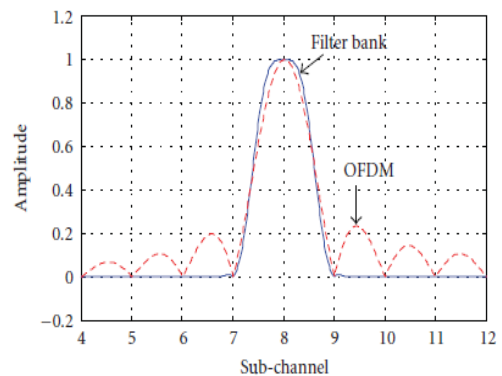
Gambar 3. Diagram konstelasi OQAM [8]

Bagian Real dan Imajiner akan dikirim secara bergantian seperti pada Gambar 3. Pada penerima, sinyal akan diproses oleh filter PHYDIAS, kemudian dilakukan proses FFT untuk menghasilkan sinyal OQAM.

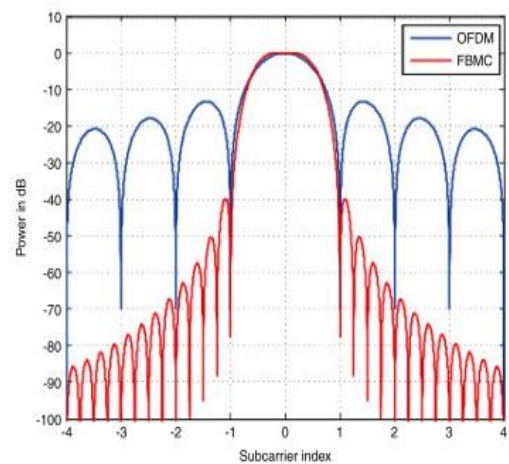
D. PHYDIAS Protoype Filter

Physical layer for dynamic spectrum access and cognitive radio (PHYDIAS) merupakan *project* yang dibiayai oleh negara negara Eropa yang bertujuan untuk pengembangan pada bagian *physical layer* dengan menggunakan FBMC sebagai filter sebelum transmisi dilakukan. Dengan menggabungkan dengan OQAM, maka tidak dibutuhkan lagi *Cycle Prefix* karena *power spectrum density* dari 1 *subcarrier* sudah tidak mengganggu *subcarrier* tetangga seperti pada Gambar 4. Dampak yang diharapkan dengan PHYDIAS adalah pengalihan/perubahan dari sistem nirkabel menuju *physical layer* yang lebih efisien dan lebih baik dalam merespons kebutuhan akses.

Dari Gambar 5 terlihat daya yang dibutuhkan FBMC lebih sedikit dari OFDM. Untuk *prototype filter* didesain dengan menggunakan *frequency sampling technique*. Koefisien dari



Gambar 4. Perbandingan *Power Spectrum Density* untuk 1 sub carrier pada OFDM dan FBMC [4]

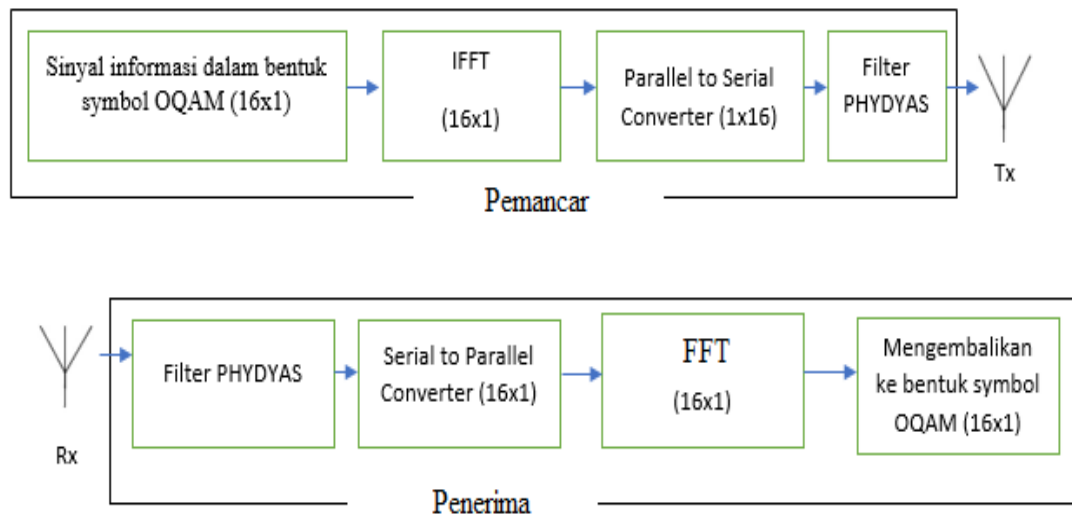


Gambar 5. Perbandingan spektrum antara OFDM dan FBMC [2]

respon impuls dapat dinyatakan dengan: Persamaan 1[3].

$$p(m) = \bar{P}[0] + 2 \sum_{k=1}^{K-1} (-1)^k \bar{P}[k] \cos\left(\frac{2\pi k}{KM} (m+1)\right) \dots\dots\dots(1)$$

- $K = 4$ (karena menggunakan 4 ary)
- $\bar{P}[0] = 1$
- $\bar{P}[1] = 0.97195983$
- $\bar{P}[2] = 1 / \sqrt{2}$
- $\bar{P}[3] = 0.23514695$



Gambar 6. Blok diagram Pembangkit dan Penerima

PERANCANGAN SISTEM

A. Simulasi FBMC MATLAB

Blok IFFT merupakan baseband modulator pada sistem dengan membangkitkan *subcarrier* yang bersifat orthogonal antar *subcarrier* satu dengan lainnya. Filter PHYDIAS pada sisi pemancar disebut filter Sintesis. Dengan $K=4$ maka *upsampling* dilakukan dengan faktor 4 (sinyal direplikasi 4 kali) sehingga jumlah data adalah $4 \times 16 = 64$. Kemudian data dikonvolusi dengan filter PHYDIAS.

Pada penerima, Filter PHYDIAS disebut Filter Analisis. Setelah proses convolusi dengan filter PHYDIAS, dilakukan downsampling dengan faktor 4. FFT merupakan baseband demodulator untuk mendapatkan data per *subcarrier*. Keluaran dari FFT akan dikembalikan ke bentuk OQAM dengan mengurutkan data. Data pada posisi ganjil adalah elemen real dan data pada posisi genap adalah elemen imajiner

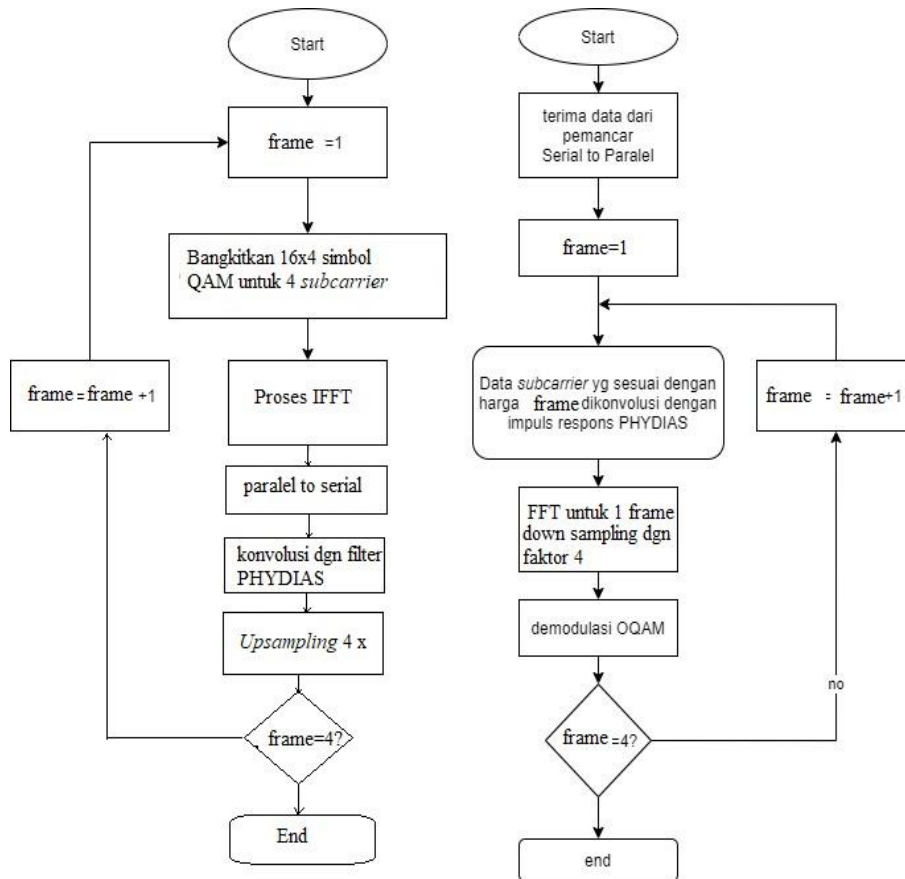
HASIL SIMULASI

A. Hasil Perancangan Pada Bagian Pemancar

Hasil yang ditampilkan untuk satu frame saja yaitu frame pertama. Posisi ganjil adalah harga *real*, posisi genap adalah harga imajiner. Hasil dapat dilihat pada Tabel 1 hingga Tabel 4.

Tabel 1. Hasil Pembangkitan Sinyal Informasi Dalam Bentuk Simbol OQAM pada frame 1.

No	Simbol OQAM (modulasi)
1	-1
2	-i
3	-1
4	i
11	1
12	i
13	-1
14	i
15	-1
16	1i



Gambar 7. Diagram Alir Sistem FBMC

Tabel 2. Hasil dari IFFT

No	Hasil IFFT
1	-0.125- 0.375i
2	-0.136223776693955 - 0.203873289212229i
3	-0.140165042944955 - 0.0883883476483185i
..	
13	0- 0.25i
14	0.203873289212229 + 0.0405529186026822i
15	-0.390165042944955 + 0.0883883476483185i
16	0.0405529186026822 + 0.0270965939155924i

Tabel 3. Upsampling dengan faktor 4

No	Hasil Upsampling
1	-0.125 - 0.375i
2	0.136223776693955 - 0.203873289212229i
..	..

16	.0405529186026822 + 0.0270965939155924i
17	-0.125- 0.375i
..	..
32	.0405529186026822 + 0.0270965939155924i
33	-0.125- 0.375i
..	..
48	0.0405529186026822 + 0.0270965939155924i
49	-0.125- 0.375i
..	..
64	0.0405529186026822 + 0.0270965939155924i

Tabel 4. Hasil konvolusi Filter PHYDIAS (Sintesis)

No	Keluaran PHYDIAS
1	0
2	-6.87562537012792e-05 - 0.000102901005508625i
3	-0.000260091489225718 - 0.000164014197028283i
4	0

5	-0.00014149646312888 + 0.000711350757083956i
	..
62	0.000730838324339549 + 0.000145372781266162i
63	-0.000723993692944007 + 0.000164014197028289i
64	2.04682826114673e-05 + 1.36764691958775e-05i

B. Hasil Perancangan Pada Bagian Penerima

Pada bagian penerima pertama data akan dikalikan dengan filter PHYDIAS, kemudian di *down sampling* dengan faktor 4. Data akan melewati proses FFT dan data akan dikembalikan ke dalam bentuk simbol OQAM .

Tabel 5. Hasil Konvolusi dgn filter PHYDIAS (Analisis)

No	Keluaran PHYDIAS
1	0
2	-3.5272104846e-08 + 4.1606284500081e-08i
3	4.30410509229319e-07 - 6.086923795400e-07i
4	1.53469334254321e-06 - 8.693339459375e-07i
..	
61	-9.325545550e-06 + 0.000119834744561522i
62	-0.00011456918529+ 0.000334225297240591i
63	0.00016875481026- 0.000115612349547933i
64	4.14586826435599e-05 - 4.515128656606e-05i

Tabel 6. Hasil *down sampling*

No	Hasil <i>down sampling</i>
1	-0.175355674683206 - 0.0744478661383174i
2	-0.135475710809605 + 0.0411622459085563i
3	-0.0964673108096826 - 0.273888917476910i
..	..
14	0.0162042377564344 - 0.0467084946371356i
15	0.104504356309633 - 0.128828642654963i

16	-0.389315513902001 + 0.23290671593060i
----	---

Tabel 7. Hasil dari FFT

No	Hasil FFT
1	-1.00045137089377 - 0.910377413502696i
2	-1.52020259444130 - 0.999521118654639i
3	-0.999782380592018 + 0.629911865824819i
4	-0.948186302026031 + 0.999523852223397i
..	
11	1.00019284252515 + 0.877326970241960i
12	1.04283938348759 + 0.999930580258545i
13	1.00045137089377 - 0.270278600297953i
14	0.152700541997139 + 1.00019284252515i
15	-0.999521118654637 - 0.106018660069143i
16	0.0191318463555209 + 0.999523852223397i

Dari hasil FFT, posisi ganjil diambil tanda (*sign*) bilangan *real*. Posisi genap diambil tanda(*sign*) bilangan imajiner.

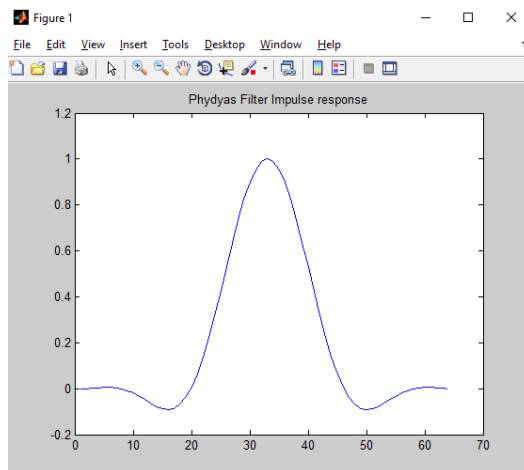
Tabel 8. Hasil demodulasi OQAM

No	Simbol OQAM (modulasi)
1	-1
2	-i
3	-1
4	i
	..
11	1
12	i
13	-1
14	i
15	-1
16	1i

Impulse response dari filter PHYDIAS yang digunakan pada simulasi MATLAB dapat dilihat pada gambar 10.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan evaluasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut:



Gambar 10. Filter Impulse

Program berjalan dengan baik dan dapat menunjukkan proses yang terjadi pada pemancar dan penerima

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aldababseh, M. and Jamoos, A. 2014. *Estimation of FBMC/OQAM Fading Channel Using Dual Kalman Filters. The Scientific World Journal.*
- [2] Chethan B1, Ravisimha B N2, Dr. M Z Kurian
The effects of Inter Symbol Interference (ISI) and FIR Pulse Shaping Filters: A survey International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering
(An ISO 3297: 2007 Certified Organization)
Vol. 3, Issue 5, May 2014
- [3] Jiang, T, dkk. 2018. *OQAM/FBMC for Future Wireless Communications.* London: Elsevier Ltd.
- [4] Musbah Shaat and Faouzi Bader, *Computationally Efficient Power Allocation Algorithm in Multicarrier-Based Cognitive Radio Networks: OFDM and FBMC Systems.* EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2010, Article ID 528378.
- [5] Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for Wireless Communications Systems.* London: Artech House.
- [6] Renfors, M, dkk. 2017. *Orthogonal Waveform and Filter Banks for Future Communication System.* London: Elsevier Ltd.
- [7] Tim Penulis. Tanpa Tahun. *Physical Layer for Dynamic Spectrum Access and Cognitive Radio (PHYDYAS)*, (Online), (https://www.up2europe.eu/european/projects/physical-layer-for-dynamic-spectrum-access-and-cognitive-radio_498.html), diakses 23 Mei 2018).
- [8] Sujitha Gowri, Dr. P. Ramana Reddy. *FBMC-New Multicarrier Modulation Technique International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, Published by, www.ijert.org, ICACC - 2016 Conference Proceedings
- [9] Udit Nigam, Mr. Pratyush Tripathi, *Advanced Filter-Bank Multicarrier System for QAM Signal Transmission and Reception: A Survey International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P) Volume-7, Issue-7, July 2017
- [10] Viholainen, A, dkk. 2009. *PHYDYAS-PHYsical layer for Dynamic Access and cognitive radio*, (Online), (<http://www.ict-phydyas.org/delivrables/PHYDYAS-D5-1.pdf/view>), diakses 23 Mei 2018)