



---

---

## SIMULASI TEKNIK MODULASI OFDM QPSK DENGAN MENGGUNAKAN MATLAB

*Rosalia H. Subrata & Ferrianto Gozali*

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti

Jalan Kiai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta Barat

*E-mail: rosalia@trisakti.ac.id, ferrianto@trisakti.ac.id*

### **ABSTRACT**

*This paper provides a brief explanation of the processing steps involved in Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) with Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) modulation technique implemented as a simulation program in MatLab. Input data of the simulation program in the form of random bit stream or text can be selected by users. The process conducted in the simulation is divided into three consecutive steps, processes in the OFDM transmitter, in transmission channel and in the OFDM receiver. The result of computation and the wave form involved in every processing steps will be displayed during the simulation. The final result shows, how the input data go through processing steps in the OFDM transmitter, transmission channel with noise and finally received by OFDM receiver will produce the output, random bit stream or text, exactly similar with input data.*

**Keywords:** *Simulation, OFDM, QPSK, Digital Modulation, IFFT, MatLab.*

### **ABSTRAK**

*Tulisan ini memberikan gambaran tentang tahapan proses yang terjadi pada sistem modulasi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) menggunakan teknik Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) menggunakan program aplikasi MatLab. Data input dari program simulasi dapat berupa suatu deretan bit acak atau berupa kalimat teks yang dipilih oleh pengguna. Tahapan proses yang dilakukan pada simulasi dibagi menjadi tiga bagian besar yaitu tahapan proses pada pemancar, proses pada kanal transmisi dan proses pada bagian penerima. Pada tiap tahapan proses akan ditampilkan bentuk gelombang serta hasil komputasi yang dilakukan pada proses tersebut. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa data input yang dimasukkan oleh pengguna, setelah menjalani proses pada pemancar untuk kemudian dikirim melalui kanal dengan error rate tertentu dan akhirnya diterima oleh bagian penerima dengan bentuk deretan bit maupun kalimat teks yang sama dengan bentuk yang dimasukkan oleh pengguna sebagai input.*

**Kata kunci:** *Simulasi, OFDM, QPSK, Modulasi digital, IFFT, MatLab*

---

---

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu masalah yang dijumpai pada sistem komunikasi kecepatan tinggi adalah *Inter Symbol Interference* (ISI). ISI terjadi ketika transmisi mengganggu dirinya sendiri dan akibatnya penerima tidak dapat menerima data yang ditransmisikan dengan benar [1].

ISI dapat diminimalkan dengan beberapa cara, misalnya pada komunikasi *single carrier*, periode simbol dibuat lebih besar dari waktu tunda [2]. Karena data rate berbanding terbalik dengan periode simbol, dengan memperbesar periode simbol akan menurunkan data rate dan komunikasi menjadi tidak efisien. Cara lainnya dengan menggunakan sistem *multicarrier* seperti *Frequency Division Multiplexing* (FDM), dimana lebar frekuensi spektrum yang ada dibagi menjadi beberapa saluran sehingga dapat mengirimkan data secara paralel [3, 4]. Secara keseluruhan, data rate yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan cara ini, namun penggunaan beberapa frekuensi *carrier* yang berdekatan di dalam spektrum frekuensi yang ada akan menimbulkan masalah baru yang serupa yaitu *Inter-Carrier Interference* (ICI).

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* atau OFDM merupakan sistem komunikasi *multicarrier* yang mampu memberikan solusi bagi kedua permasalahan di atas dimana frekuensi *carrier* diatur saling *orthogonal* untuk menjamin agar tidak menimbulkan adanya ICI dan setiap *carrier* menggunakan data rate rendah yang tidak menimbulkan ISI [2-4].

Walaupun ide sistem OFDM telah dimulai sejak 1966 [3, 4], namun belum mendapat perhatian untuk dimanfaatkan secara luas. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi dengan berbagai aplikasi dan media yang makin beragam akhir-akhir ini, menyebabkan OFDM kembali menarik perhatian para peneliti untuk dikembangkan lebih lanjut [4] serta banyak digunakan dalam sistem komunikasi *broadband* dengan kabel maupun nirkabel, karena merupakan solusi efektif untuk mengatasi ISI dengan mengirimkan banyak transmisi kecepatan rendah pada frekuensi yang berbeda secara bersamaan [2-5].

Tujuan pengembangan simulasi ini adalah untuk memperlihatkan tahapan proses dan komputasi yang terjadi pada OFDM serta mengamati perubahan unjuk



kerja sistem dengan mengubah berbagai parameter yang digunakan dalam sistem. Penentuan parameter yang digunakan pada simulasi akan menentukan batasan komputasi yang digunakan pada simulasi pada program.

Dengan menggunakan program aplikasi MatLab versi 7.6.0.324 (R2008a), *modulator* OFDM diimplementasikan dengan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) [5], sedangkan *demodulator* OFDM diimplementasikan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) [5] dan model kanal yang digunakan adalah kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Data input yang dipilih pengguna, pada *transmitter* akan dimodulasi dengan *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), lalu dimodulasi dengan IFFT sehingga menghasilkan simbol OFDM yang diteruskan ke *receiver* melalui kanal AWGN. Pada *receiver*, simbol OFDM ini akan didemodulasi dengan FFT dan *demapper* QPSK. Melalui proses di atas, mekanisme proses yang terjadi pada sistem OFDM dapat dipelajari dan karakteristik dari sistem OFDM dapat diamati.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Prinsip Dasar OFDM

Pada prinsipnya, sistem OFDM merupakan sistem *multicarrier* yang hampir sama dengan sistem FDM yaitu membagi *bandwidth* yang ada menjadi beberapa *sub-channel* namun data tiap *sub-channel* tersebut dimodulasi dengan *sub-carrier* yang saling tegak lurus atau *orthogonal*, untuk kemudian ditransmisikan secara simultan. Sinyal dikatakan bersifat *orthogonal* jika sinyal-sinyal tersebut saling *independent* satu sama lain dan tidak menimbulkan ISI ketika ditransmisikan [4, 6]. Sekumpulan beberapa fungsi saling *orthogonal* satu sama lain dapat dilihat dari persamaan (1) berikut:

$$\int_0^T s_i(t) s_j(t) dt = \begin{cases} C & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (C \text{ adalah bilangan konstan}) \quad (1)$$

Jika perkalian dua fungsi yang berbeda dan diintegrasikan selama periode simbol, hasilnya adalah nol, maka fungsi-fungsi tersebut dinamakan *orthogonal*. Persamaan (2) menunjukkan satu set *orthogonal sinusoid*, yang mewakili *sub-carrier* untuk

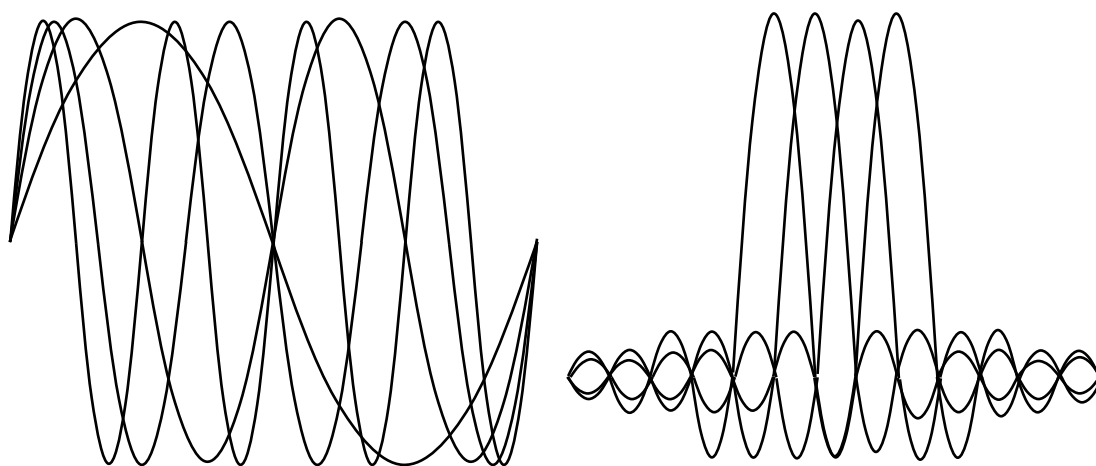
sebuah *unmodulated real OFDM signal* [1, 6].

$$s_k(t) = \begin{cases} \sin(2\pi k f_0 t) & 0 < t < T \\ 0 & t \text{ yang lain} \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

dimana  $f_0$ : *carrier spacing*,  $M$ : jumlah *sub-carrier*, dan  $T$ : periode simbol.

Karena komponen frekuensi tertinggi adalah  $Mf_0$ , maka *bandwidth* transmisi juga  $Mf_0$  dan minimum *frequency spacing* (jarak frekuensi) antara dua sinyal *orthogonal sinusoid* adalah  $\frac{1}{T}$  [1, 6].

Ortogonalitas pada OFDM diperoleh dengan mendistribusikan sinyal informasi yang terpisah ke *sub-carrier* yang berbeda. Dengan demikian, sinyal OFDM terdiri dari sejumlah *sinusoid*, yang masing-masing sesuai dengan *sub-carrier*. Frekuensi *baseband* masing-masing *sub-carrier* dipilih bilangan bulat kebalikan dari waktu simbol, yang menyebabkan semua *sub-carrier* memiliki jumlah siklus per simbol berupa bilangan bulat. Sebagai konsekuensinya *sub-carrier* adalah *orthogonal* satu sama lain [4, 6]. Gambar 1 menunjukkan bentuk sinyal dari empat *sub-carrier* yang saling *orthogonal* dalam domain waktu dari sebuah simbol OFDM dan spektrum frekuensi dari masing-masing *sub-carrier*.



(a) Konstruksi domain waktu dari empat *sub-carrier* yang saling Orthogonal

(b) Spektrum frekuensi dari masing-masing *sub-carrier*

Gambar 1. Spektrum frekuensi *sub-carrier* [6]



## 2.2. Pembangkitan Sinyal OFDM

Untuk menghasilkan sinyal OFDM, semua *sub-carrier* harus saling *orthogonal*. Pertama dilakukan pemilihan spektrum yang diperlukan berdasarkan pada data input, dan skema modulasi yang digunakan. Setiap *sub-carrier* mengirimkan beberapa data input. Amplitudo dan fase dari *sub-carrier* kemudian dihitung berdasarkan skema modulasi digital yang digunakan misalnya, *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) [7].

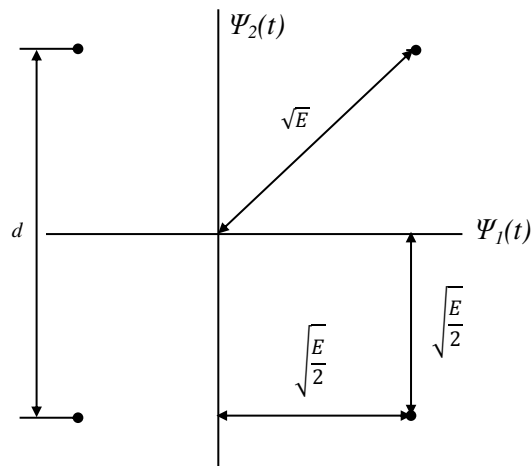
Spektrum hasil modulasi kemudian diubah kembali ke dalam domain waktu dengan menggunakan *Inverse Fourier Transform* menjadi sinyal OFDM yang siap untuk dikirimkan melalui kanal transmisi. Pada kebanyakan aplikasi, proses ini dilakukan dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) [1].

IFFT mengubah spektrum (amplitudo dan fase masing-masing komponen) menjadi sinyal domain waktu dimana IFFT dengan panjang berupa bilangan pangkat dua mengkonversi sejumlah data kompleks menjadi sinyal domain waktu dengan jumlah data yang sama. Sebelum dikirimkan, sinyal umumnya diberikan *guard interval* berupa *cyclic prefix* yaitu penambahan simbol dari *frame* akhir *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) ke *frame* awal [1]. Hal ini dimaksudkan agar ketika sinyal dari beberapa *sub-carrier* yang telah diberi *cyclic prefix* dikirim ke kanal yang bersifat *frequency selective fading*, sinyal tersebut dapat terhindar dari *Inter Symbol Interference* atau ISI [2].

## 2.3. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Teknik modulasi yang digunakan untuk OFDM adalah *M-Phase Shift Keying* (M-PSK) atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) yang memetakan data *words* menjadi *real (In phase) and imaginary (Quadrature) constellation*, yang dikenal dengan istilah *IQ constellation* [1]. Data yang dialokasikan untuk masing-masing simbol tergantung pada modulasi konstelasi yang digunakan (misalnya *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)) dan jumlah *sub-carrier* yang digunakan [1].

Teknik modulasi *sub-carrier* yang digunakan pada simulasi ini adalah modulasi QPSK dimana masing-masing *sub-carrier* membawa 2 bit data. Misalkan pada QPSK dengan 100 *sub-carrier* maka jumlah bit per simbol menjadi 200. Diagram konstelasi QPSK seperti Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Konstelasi QPSK [1]

Dari Gambar 2 di atas terlihat, sumbu  $\psi_1(t)$  sesuai dengan komponen sinyal *real* (*Inphase*) dan sumbu  $\psi_2(t)$  sesuai dengan komponen sinyal *imaginary* (*Quadrature*) Secara matematis, sinyal QPSK dapat dituliskan dalam bentuk seperti persamaan (3) berikut [1].

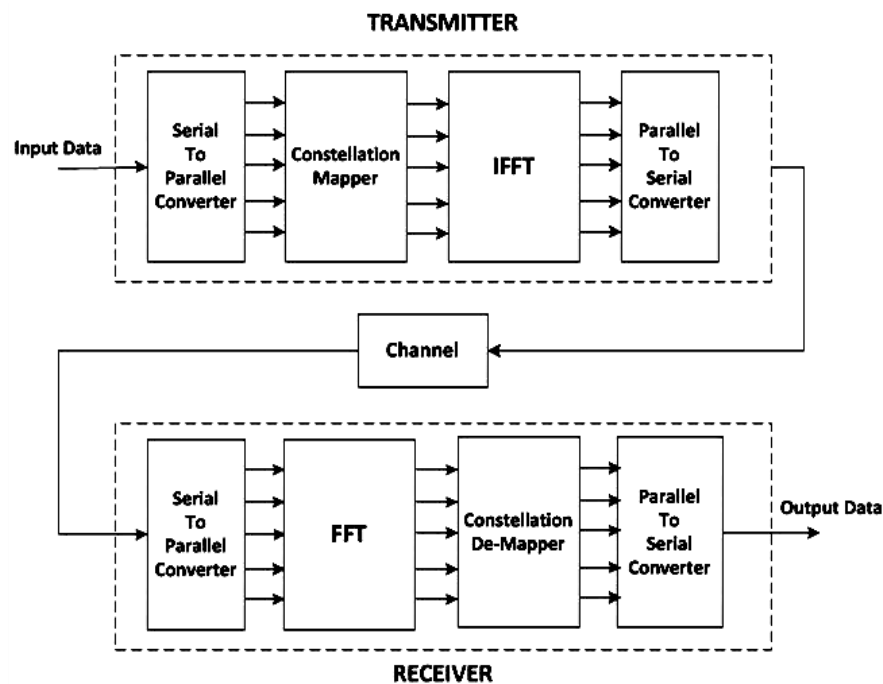
$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left(\omega_c t + \frac{\pi i}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

Ada dua kemungkinan metode perancangan modulator QPSK yaitu metode *polar* dan metoda *quadrature*. Pada metode *polar* modulasi QPSK, mula-mula pergeseran fase sinyal *carrier*  $\phi_i = \frac{\pi i}{2} + \frac{\pi}{4}$ , ( $i = 1, \dots, 4$ ) dihitung. Karena ada empat kemungkinan pergeseran fase dalam QPSK masing-masing 2 bit aliran input data mendefinisikan sinyal yang ditransmisikan yaitu pergeseran fase  $\phi_i$ . Kemudian modulator fase memberikan pergeseran fase dari sinyal *carrier*. Ini adalah metode yang paling sederhana dari implementasi modulasi QPSK, tetapi membutuhkan lebih

banyak operasi karena diperlukan untuk mengubah fase *carrier* secara langsung tidak seperti pada metode *quadrature*.

### 3. PERANCANGAN SIMULASI

Pengembangan simulasi dilakukan dengan membentuk komponen pendukung yang dibutuhkan untuk selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan program aplikasi MatLab. Secara umum, komponen yang membentuk sistem OFDM terdiri dari tiga bagian yaitu bagian *transmitter*, kanal transmisi, dan bagian *receiver*. Hubungan antara ketiga bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

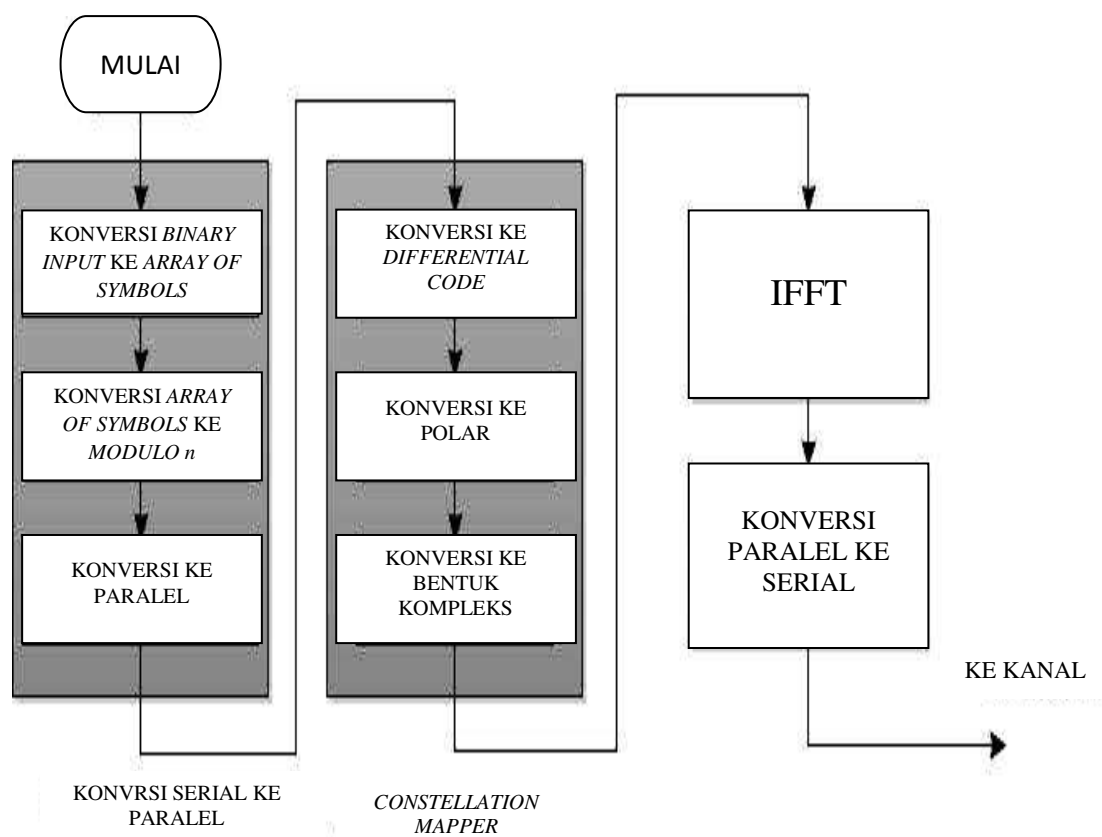


Gambar 3. Diagram blok OFDM [7, 8]

#### 3.1. Bagian Transmitter

Dari Gambar 3 di atas terlihat bagian *transmitter* terdiri dari *Serial to Parallel Converter*, *Constelation Mapper*, *IFFT* dan *Parallel to Serial converter*. *Serial to Parallel Converter* berfungsi untuk mengubah data *input* yang berupa data *random* biner atau teks dalam deretan seri menjadi data yang paralel. Setiap data paralel merupakan satu simbol untuk masing-masing *sub-carrier*. *Constellation mapper*

berfungsi untuk memetakan setiap bit ke domain kompleks sesuai dengan konstelasi modulasi yang digunakan. Teknik modulasi *sub-carrier* yang digunakan adalah modulasi QPSK dimana masing-masing *sub-carrier* membawa 2 bit data [8]. Lalu modulator OFDM yang diimplementasikan dengan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) memodulasi konstelasi sinyal menjadi simbol OFDM dalam domain waktu. Kemudian simbol OFDM yang paralel diubah kembali menjadi deretan seri untuk dikirimkan melalui kanal transmisi. Keseluruhan proses di atas dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada Gambar 4.

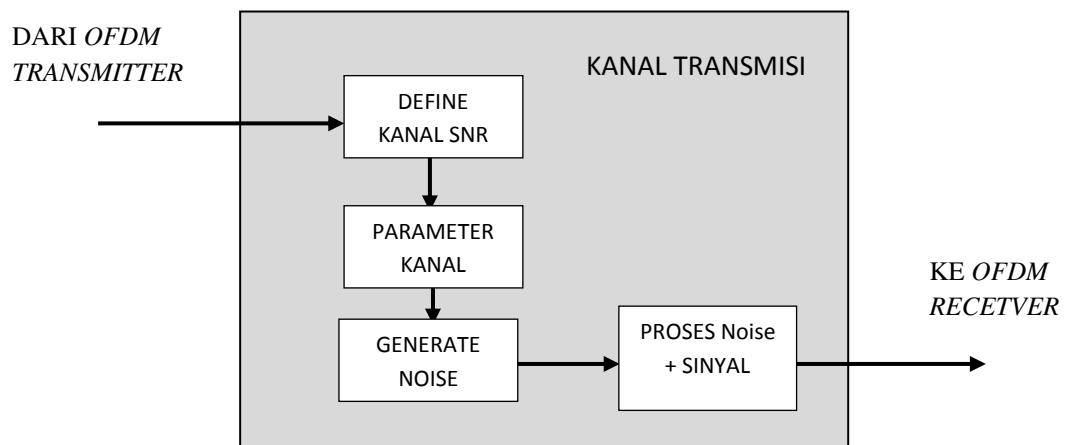


Gambar 4. Diagram alir *transmitter* OFDM

### 3.2. Bagian Kanal Transmisi

Kanal transmisi yang digunakan dalam simulasi ini adalah kanal *Additive White Gaussian Noise* atau AWGN, dimana *noise* disimulasikan dengan menambahkan data *random* pada sinyal output *transmitter* seperti pada Gambar 5.





Gambar 5. Diagram alir kanal AWGN

### 3.3. Bagian Receiver

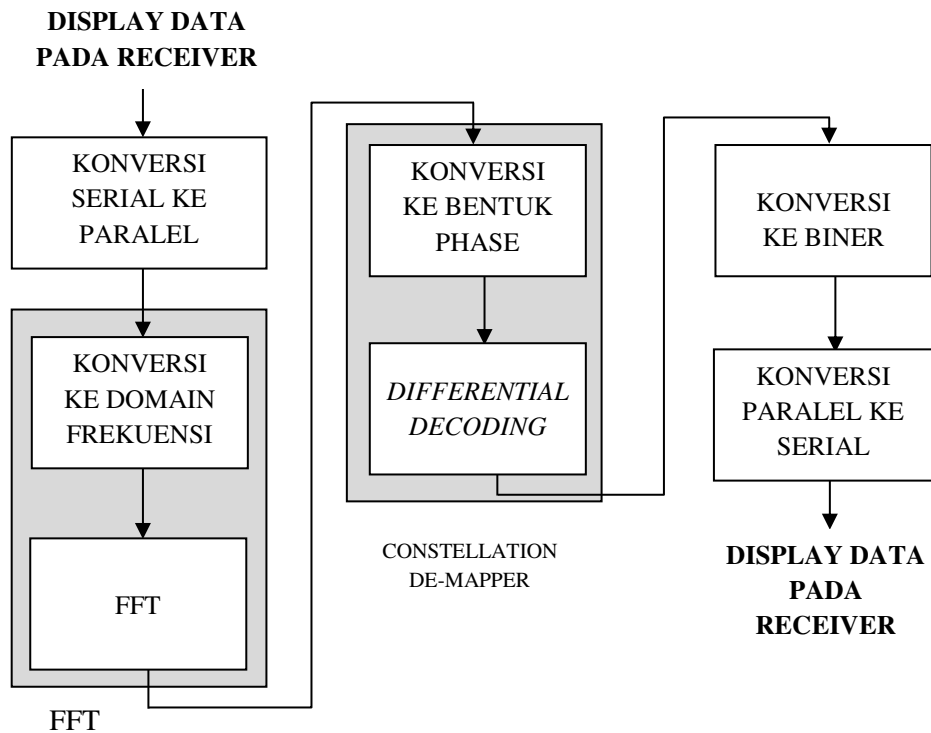
Bagian *receiver* melakukan operasi kebalikan dari *transmitter*. Sinyal OFDM yang diterima bagian *receiver* berupa deretan data serial akan diubah oleh bagian *Serial to Parallel Converter* menjadi paralel. Demodulator OFDM yang diimplementasikan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) mengubah sinyal domain waktu menjadi domain frekuensi, dimana besaran komponen frekuensi sesuai dengan data asli. Untuk selanjutnya, *constellation demapper* memetakan konstelasi sinyal yang diterima menjadi deretan bit kembali. Akhirnya *output demapper* yang paralel diubah kembali menjadi data *serial* untuk kemudian ditampilkan dan dibandingkan dengan data input yang digunakan pengguna. Keseluruhan proses di atas dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada Gambar 6 halaman berikut.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

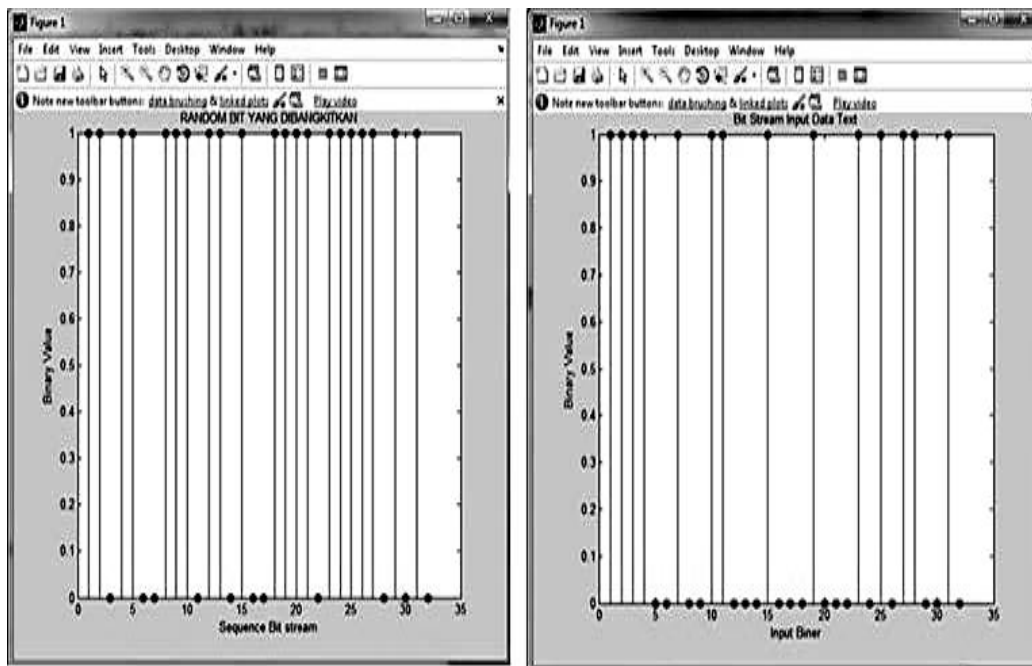
### 4.1. Bagian Transmitter

#### 4.1.1. Data Input

Data *input* program simulasi yang dapat dipilih pengguna adalah *input* data berupa random bit dengan panjang yang ditentukan pengguna atau berupa teks dengan tulisan yang dimasukkan oleh pengguna dengan batasan untuk kebutuhan parameter *default* yang disediakan sistem. Untuk kedua pilihan tersebut, bentuk data *input* akan ditampilkan seperti pada Gambar 7 pada halaman berikut:



Gambar 6. Diagram alir *receiver* OFDM [7, 8]



(a) 16 *Random bit* yang dibangkitkan

(b) *Bit stream input* data teks

Gambar 7. Bentuk data *input*



#### 4.1.2. Penentuan Parameter

Pengguna dapat memilih apakah menggunakan *default* parameter atau memilih nilai parameter yang lain seperti Tabel 1. Dengan adanya fitur ini maka pengguna dapat mengamati proses yang terjadi dengan mengubah nilai parameter.

Tabel 1. Parameter simulasi sistem OFDM

Parameter	Default	Pilihan
IFFT Size	64 bit	32, 64, 128, 256 bit
Jumlah Carrier	8	4, 8, 16, 32
Jumlah bit per simbol	2	(karena menggunakan QPSK)
Besar SNR kanal	10 dB	5, 10 dan 20 dB

#### 4.1.3. Konversi Serial ke Paralel

Dalam tahapan ini, input *bit stream serial* diubah menjadi *array* simbol paralel (2 bit per simbol) yang dikelompokkan sesuai dengan jumlah frekuensi *carrier* dan *conjugate carrier* yang telah dipilih sebelumnya. Untuk 32 bit data *input random* dengan 8 buah *carrier* akan didapatkan suatu matriks baru dimana setiap kolom menyatakan *carrier* dan setiap baris menyatakan simbol sebagai berikut:

$$\begin{matrix} 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 2 & 3 & 3 & 2 & 2 & 2 \end{matrix}$$

#### 4.1.4. Constellation Mapping (Proses QPSK)

*Array* simbol paralel yang diperoleh dari proses konversi di atas diubah ke dalam bentuk *differential code* dengan menambahkan *start* simbol yaitu bit 0 pada setiap kolom simbol.

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 3 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Hasil modulasi QPSK dalam bentuk *polar (phase)* diperoleh dengan cara mengalikan dengan faktor  $2\pi/4$ , dan kemudian diubah ke bentuk kompleks sebelum

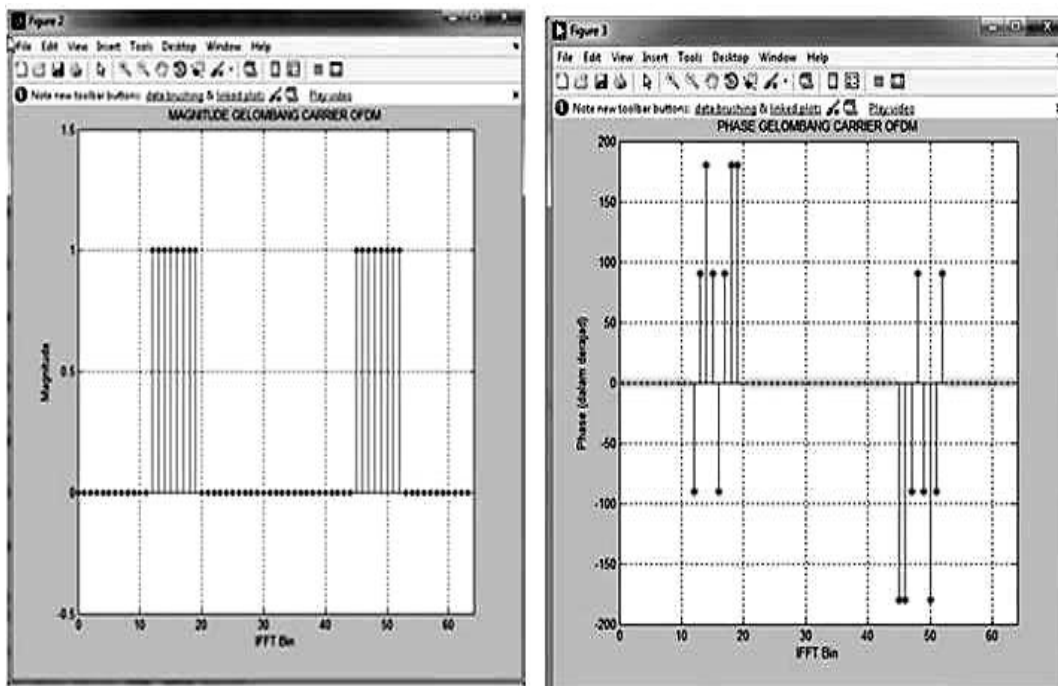
dilakukan proses IFFT, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil modulasi QPSK dalam bentuk kompleks

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
-0.0000 - 1.0000i	0.0000 + 1.0000i	-1.0000 + 0.0000i	0.0000 + 1.0000i	-0.0000 - 1.0000i	0.0000 + 1.0000i	-1.0000 + 0.0000i	-1.0000 + 0.0000i
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-1.0000 + 0.0000i	-0.0000 - 1.0000i	1.0000	1.0000

#### 4.1.5. Proses *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT)

Pada saat fungsi IFFT MatLab dijalankan maka hasil modulasi QPSK yang diperoleh pada Tabel 2 di atas akan mengalami modulasi *phase* dengan frekuensi *carrier* dan *conjugate carrier* yang telah ditentukan sebelumnya dengan *magnitude* dan *phase* seperti terlihat pada Gambar 8 berikut.



(a) *Magnitude* gelombang

(b) *Phase* gelombang

Gambar 8. Gelombang *carrier* OFDM

Hasil *IFFT modulation carrier* dan *IFFT modulation symmetric conjugate carrier* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

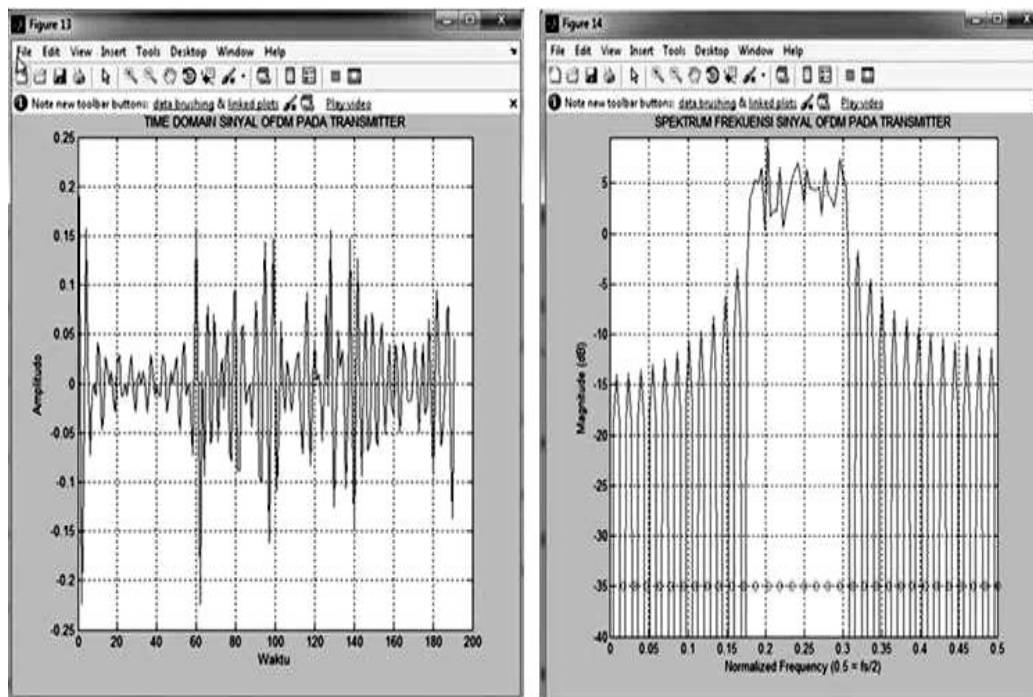
Tabel 3. Hasil *IFFT modulation carrier*

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
-0.0000 - 1.0000i	0.0000 + 1.0000i	-1.0000 + 0.0000i	0.0000 + 1.0000i	-0.0000 - 1.0000i	0.0000 + 1.0000i	-1.0000 + 0.0000i	-1.0000 + 0.0000i
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-1.0000 + 0.0000i	-0.0000 - 1.0000i	1.0000	1.0000

Tabel 4. Hasil *IFFT modulation conjugate carrier*

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
-0.0000 + 1.0000i	0.0000 - 1.0000i	-1.0000 - 0.0000i	0.0000 - 1.0000i	-0.0000 + 1.0000i	0.0000 - 1.0000i	-1.0000 - 0.0000i	-1.0000 - 0.0000i
1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	-1.0000 - 0.0000i	-0.0000 + 1.0000i	1.0000	1.0000

Sinyal hasil IFFT di atas diubah kembali ke dalam domain waktu untuk kemudian dikonversi dari paralel ke serial agar dapat ditampilkan bentuk sinyal OFDM yang dikirim ke kanal transmisi seperti pada Gambar 9 berikut.



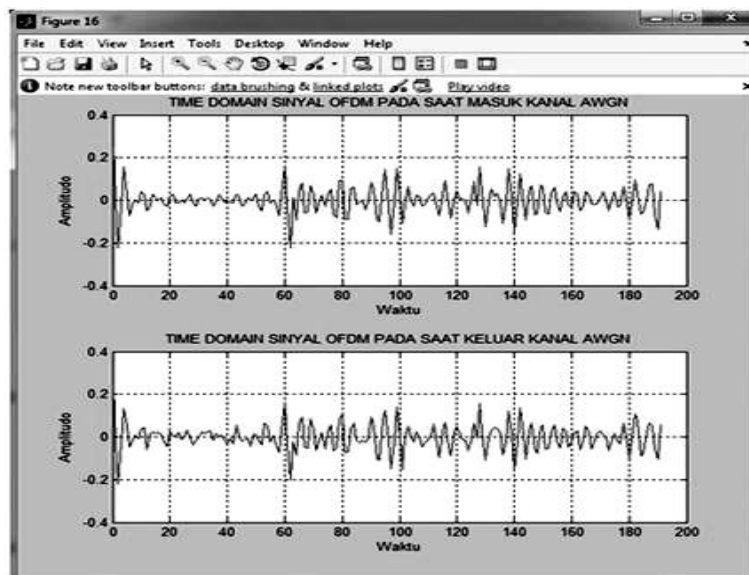
(a) *Magnitude gelombang*

(b) *Fase gelombang*

Gambar 9. Sinyal OFDM pada output *transmitter*

## 4.2. Bagian Kanal Transmisi

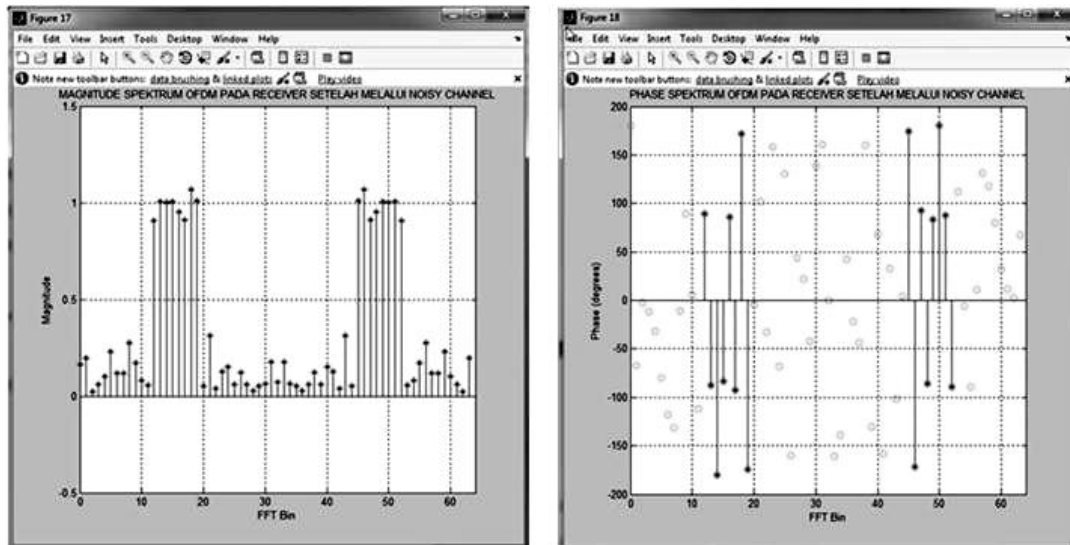
Sinyal OFDM dari *transmitter* disalurkan ke *receiver* melalui *kanal AWGN*, dimana sinyal akan mengalami gangguan berupa *noise* dengan nilai *signal to noise ratio* (SNR) yang ditentukan pengguna. Berdasarkan nilai SNR dibangkitkan suatu bit *random* yang bersesuaian yang merupakan *noise* yang dialami oleh sinyal OFDM. Sinyal yang diterima oleh *receiver* OFDM merupakan sinyal OFDM yang dihasilkan *transmitter* ditambah dengan *noise*. Perbandingan sinyal pada *input* kanal dan *output* kanal AWGN dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Sinyal *input* dan *output* kanal AWGN

## 4.3. Bagian Receiver

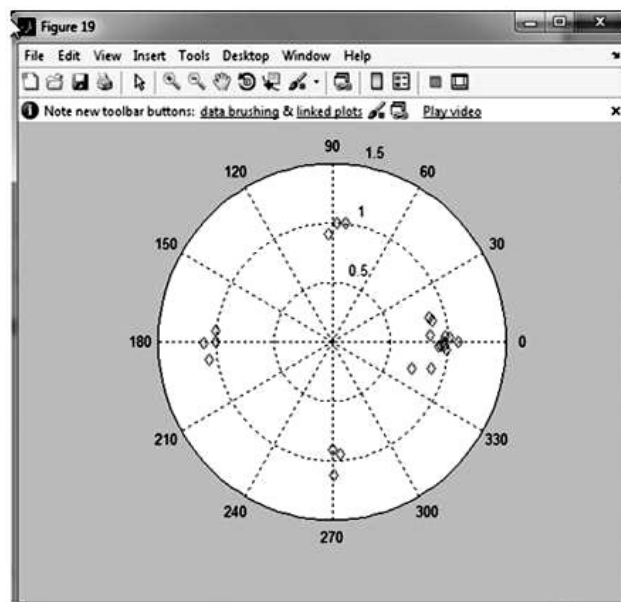
Seperti terlihat pada diagram alir pada Gambar 8 sebelumnya, maka tahapan proses yang dilakukan *receiver* merupakan kebalikan dari proses yang dilakukan pada *transmitter*. Pengguna kembali diperlihatkan tahapan proses serta hasil komputasi yang dilakukan seperti halnya pada bagian *transmitter* yang telah dibahas di atas, hanya proses IFFT digantikan oleh proses FFT yang merupakan kebalikan dari proses IFFT. Tampilan *magnitude* dan *phase* spektrum OFDM pada *receiver* dapat dilihat pada Gambar 11 dan dalam koordinat polar dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



(a) *Magnitude* spektrum OFDM

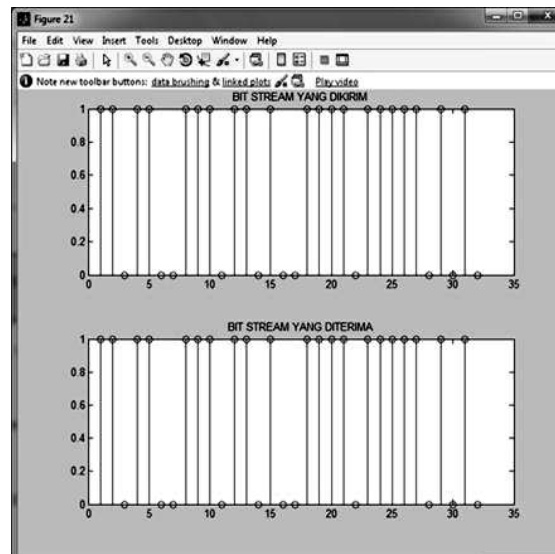
(b) *Phase* spektrum OFDM

Gambar 11. Sinyal OFDM pada *receiver*



Gambar 12. Sinyal OFDM dalam koordinat polar

Sebagai akhir dari proses simulasi maka akan ditampilkan perbandingan bentuk data *stream* atau teks yang berhasil diterima oleh bagian penerima dibandingkan dengan data *input* yang dipilih pengguna pada *transmitter* seperti pada Gambar 13 berikut.



Gambar 13. *Bit stream* yang dikirim dan yang diterima

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian program simulasi yang dikembangkan dan analisis hasil komputasi serta bentuk sinyal yang diperoleh pada tahapan proses yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. OFDM merupakan teknik modulasi yang tepat untuk pengiriman data karena *output bit stream* yang diterima *receiver* sama dengan data input yang dikirim dari *transmitter*, sesuai dengan yang diharapkan, artinya tidak ada kesalahan bit dalam proses pengiriman dan penerimaan data.
2. Dengan menggunakan program MatLab, tahapan proses yang dilakukan di dalam OFDM, mulai dari bagian *transmitter* sampai pada bagian *receiver* dapat disimulasikan dengan baik sehingga proses komputasi yang dilakukan dapat diamati dengan jelas, baik secara numerik maupun dengan bantuan tampilan sinyal yang didapatkan.
3. Jumlah karakter data *input* maupun panjang bilangan biner *random* yang digunakan dalam program dipengaruhi oleh pemilihan jumlah *sub-carrier* serta jumlah bit per simbol pada program. Hal ini dapat dilihat akan adanya perubahan pada tampilan Gambar 8 pada saat simulasi dijalankan dengan mengubah-ubah parameter sebagaimana yang terdapat pada Tabel 1.





4. Makin besar jumlah bit data *input*, maka spektrum frekuensi sinyal OFDM yang dikirim oleh *transmitter* makin tampak jelas. Hal ini dapat dilihat pada perubahan bentuk spektrum pada Gambar 9 dengan mengubah-ubah panjang data *input* pada saat simulasi dijalankan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Ir. Tjandra Susila, M.Eng.Sc. Ph.D. atas dorongan, bimbingan, serta saran-saran yang telah diberikan selama pengembangan program Simulasi Teknik Modulasi OFDM QPSK dengan menggunakan MatLab ini dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Evgenii Krouk and Sergei Semenov, *Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications*. John Wiley & Sons, Ltd. 2011, hlm. 21 - 81.
- [2] Yong Soo Cho et.al.. *MIMO-OFDM Wireless Communications with MatLab*, John Wiley & Sons (Asia), Pte Ltd. 2010, hlm. 111 - 126
- [3] Uma Shanker Jha and Ramjee Prasad, *OFDM Towards Fixed and Mobile Broadband Wireless Access*. London: Artech House, 2007, hlm. 29 - 38
- [4] Sandeep Kaur and Gurpreet Bharti, Orthogonal Frequency Division Multiplexing in Wireless Communication Systems: A Review. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology* Vol.1, Issue 3, May 2012.
- [5] Nilesh Chide, Shreyas Deshmukh, P.B. Borole, Implementation of OFDM System using IFFT and FFT. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* Vol. 3, Issue 1, January - Feb 2013, hml. 2009- 2014
- [6] Neha Pathak, *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Simulation Using MatLab*. *International Journal of Engineering Research & Technology* Vol. 1 Issue 6, August 2012.
- [7] S.S. Ghorpade and S.V. Sankpal, Behavior of OFDM System Using MATLAB Simulation. *International Journal of Innovative Technology and Research*, Vol.



- 1, Issue No. 3, April - May 2013, hlm. 249 – 252.
- [8] Neha Sharma and Yogendra Yadav, Simulation of Digital Modulation Techniques Using MATLAB. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering* Vol. 1, Issue 10, Dec 2012.
- [9] Roshan Jain and Sandhya Sharma, Simulation and Performance Analysis of OFDM with Different Modulation Techniques. *International Journal of Engineering and Technical Research*, Vol. 1, Issue-1, March 2013.