



**ANALISIS PERBANDINGAN BER DAN PAPR DALAM TRANSMISI  
CITRA PADA SISTEM 4G LTE MENGGUNAKAN MODULASI QPSK,  
16-QAM, DAN 64-QAM**

**SKRIPSI**

Oleh

**DESCHIE TRI AKSARA**

**NIM 151910201094**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**



**ANALISIS PERBANDINGAN BER DAN PAPR DALAM TRANSMISI  
CITRA PADA SISTEM 4G LTE MENGGUNAKAN MODULASI QPSK,  
16-QAM, DAN 64-QAM**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapai tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**DESCHIE TRI AKSARA**

**NIM 151910201094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya yang tak ternilai sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian skripsi ini.

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orangtua, Ibu Ribut Dwi Purwati dan Bapak Waluyo;
2. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
3. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Serta seluruh rekan-rekan yang penulis kenal dan rekan-rekan yang membaca skripsi ini.

**MOTTO**

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

**(terjemahan QS. Al Baqarah ayat 286)**

“Katakanlah sesungguhnya shalatku, ibadahku, hidupku, dan matiku hanyalah untuk Allah Rabb semesta alam”

**(terjemahan Q.S al-An'ām ayat 162)**

*"Life will let you get away with something for a while, but sooner or later, you will pay the price. Everything you do in life causes the effects that you experience.*

*When you get the bill, be prepared to pay."*

**(Iyanla Vanzant)**

“Kita bisa terinspirasi dari siapa saja dan kapan saja, asalkan kita mau peka terhadap apa yang terjadi di sekitar kita.”

**(Billy Boen)**

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deschie Tri Aksara

NIM : 151910201094

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisis Perbandingan BER dan PAPR dalam Transmisi Citra pada Sistem 4G LTE Menggunakan Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 14 Januari 2020

Yang menyatakan

Deschie Tri Aksara

NIM 151910201094

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN BERDANPAPR DALAM TRANSMISI  
CITRA PADA SISTEM 4G LTE MENGGUNAKAN MODULASI QPSK,  
16-QAM, DAN 64-QAM**

Oleh

Deschie Tri Aksara

NIM 151910201094

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul "Analisis Perbandingan BER dan PAPR dalam Transmisi Citra pada Sistem 4G LTE Menggunakan Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM" karya Deschie Tri Aksara telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 14 Januari 2020

tempat : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T.

NIP 19890519 201504 1 001

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

NIP 19840531 200812 1 004

Penguji I,

Penguji II,

Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si.

NIP 19680119 199702 1 001

Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T.

NRP 760014640

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 19700826 199702 1 001



**ANALISIS PERBANDINGAN BER DAN PAPR DALAM TRANSMISI  
CITRA PADA SISTEM 4G LTE MENGGUNAKAN MODULASI QPSK,  
16-QAM, DAN 64-QAM**

**Deschie Tri Aksara**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

*Email: deschie96@gmail.com*

**ABSTRAK**

Teknologi telekomunikasi saat ini menuntut penggunaan *data rate* yang tinggi dalam proses pengiriman data. OFDM merupakan teknologi *multiplexing* yang didasarkan pada penyebaran data untuk ditransmisikan melalui banyak *carrier* yang dimodulasikan pada kecepatan data rendah. OFDM memiliki keunggulan tahan terhadap *multipath delay spread*, *frequency selective fading*, serta modulasi dan demodulasi yang efisien. SC-FDMA, teknik *multiple access*, dapat mengatasi permasalahan dari OFDM yaitu sensitif terhadap *frequency offset* dan besarnya nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik BER dan PAPR terhadap SNR, menganalisis perbandingan BER dan PAPR terhadap SNR pada sistem OFDM dan SC-FDMA, dan mengetahui perbandingan kinerja teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Penelitian dijalankan dengan melakukan simulasi pengiriman citra melalui kanal *Rayleigh Fading* menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Parameter SNR yang diteliti sebesar 0-16 dB. Faktor penggunaan kanal *Rayleigh fading* dalam pentransmisian citra menghasilkan bahwa SC-FDMA memiliki ketahanan *noise* yang lebih tinggi saat menggunakan modulasi QPSK dengan nilai PAPR yang stabil di angka 0,9 dB, OFDM memiliki ketahanan *noise* yang lebih tinggi saat menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM dengan rata-rata nilai PAPR yang semakin meningkat dari SNR 0 dB hingga 16 dB.

**Kata kunci** : transmisi citra, OFDM, SC-FDMA, Rayleigh Fading, BER, PAPR



**COMPARISON ANALYSIS OF BER AND PAPR IN IMAGE  
TRANSMISSION ON 4G LTE SYSTEM USING QPSK, 16-QAM, AND  
64-QAM MODULATION**

**Deschie Tri Aksara**

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
University of Jember*

*Email: deschie96@gmail.com*

**ABSTRACT**

*Today's telecommunications technology requires a higher use of data rate in the process of data transmission. OFDM is a multiplexing technology based on data spreading to be transmitted through many carriers which are modulated at low data rates. OFDM has advantages of being resistant to multipath delay spread, frequency selective fading, and efficient modulation and demodulation. SC-FDMA, a multiple access technique, can overcome the problems of OFDM, which are sensitive to frequency offset and a high value of Peak to Average Power Ratio (PAPR). This research aims to determine the characteristics of BER and PAPR to SNR, analyze the comparison of BER and PAPR to SNR in OFDM and SC-FDMA systems, and determine the performance comparison of QPSK, 16-QAM and 64-QAM modulation techniques. The research was conducted by simulating image transmission through Rayleigh Fading channels using QPSK, 16-QAM, and 64-QAM modulation. SNR parameters studied were 0-16 dB. The factor of using Rayleigh fading channels in image transmission results in that SC-FDMA has higher noise resistance when using QPSK modulation with a stable PAPR value of 0.9 dB, OFDM has a higher noise resistance when using 16-QAM modulation and 64-QAM with an average PAPR value increasing from SNR 0 dB to 16 dB.*

**Keywords:** *image transmission, OFDM, SC-FDMA, Rayleigh Fading, BER, PAPR*

## RINGKASAN

**Analisis Perbandingan BER dan PAPR dalam Transmisi Citra pada Sistem 4G LTE Menggunakan Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM;** Deschie Tri Aksara; 151910201094; 2019; 50 halaman; Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Teknologi telekomunikasi khususnya *wireless* kian lama semakin berkembang seiring dengan tuntutan layanan *data rate* yang meningkat. Demi menunjang kebutuhan pengiriman data tersebut, diperlukan teknik yang dapat mentransfer banyaknya data dengan *data rate* yang tinggi dan nilai *Bit Error Rate* (BER) yang memungkinkan. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan teknologi *multiplexing* yang merupakan dasar dari beberapa standar telekomunikasi termasuk *wireless local area network* (LAN), *digital terrestrial television* (DTT), dan *digital radio broadcasting* (DTT).

Konsep dari OFDM didasarkan pada penyebaran data untuk ditransmisikan melalui banyak *carrier* yang dimodulasikan pada kecepatan data yang rendah. Dibandingkan dengan sistem modulasi *single carrier*, OFDM memiliki keunggulan seperti tahan terhadap *multipath delay spread* yang menyebabkan *inter-symbol interference* (ISI), *frequency selective fading*, atau modulasi dan demodulasi yang efisien. Meski demikian, OFDM memiliki permasalahan yaitu sensitif terhadap *frequency offset* dan besarnya nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang dapat diatasi dengan menggunakan teknik *multiple access* pada sisi *uplink* yaitu *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik BER dan PAPR terhadap SNR pada sistem 4G LTE, menganalisis perbandingan BER dan PAPR terhadap SNR dalam kinerja transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA, dan mengetahui perbandingan kinerja teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM pada sistem OFDM dan SC-FDMA. Penelitian dijalankan dengan melakukan simulasi pengiriman citra melalui kanal *Rayleigh Fading* yang ditransmisikan dalam sistem OFDM dan SC-FDMA menggunakan modulasi

QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Simulasi dijalankan menggunakan Matlab R2019a. Citra yang digunakan sebagai masukan berupa 3 citra yang berdimensi berbeda dengan masing-masing berupa citra grayscale *cameraman.jpg*, citra RGB *pool.jpg* dan *lena.jpg*. Parameter SNR yang digunakan untuk membandingkan BER dan PAPR yaitu sebesar 0 dB hingga 16 dB. Data hasil penelitian berupa citra yang dikirim dan citra yang diterima tiap SNR, nilai BER tiap SNR, nilai PAPR tiap SNR yang direpresentasikan dalam grafik. Analisis penelitian dilakukan dengan membandingkan nilai BER dan PAPR modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM serta nilai BER dan PAPR pada OFDM dan SC-FDMA.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada sistem OFDM, nilai BER terbaik terdapat pada 16-QAM sebesar 0 ketika nilai SNR 11 dB dan nilai PAPR terendah terdapat pada 64-QAM dengan rata-rata sebesar -0,71480 dB; pada sistem SC-FDMA, nilai BER terbaik terdapat pada QPSK sebesar 0 ketika nilai SNR 13 dB dan nilai PAPR yang tidak berbeda signifikan dari modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM dengan rata-rata nilai PAPR masing-masing sebesar 0,98323 dB, 0,97664 dB, dan 0,98091 dB; pada modulasi QPSK, SC-FDMA lebih baik daripada OFDM karena menghasilkan nilai BER yang lebih kecil saat SNR 0-16 dB; pada modulasi 16-QAM, OFDM lebih baik saat SNR 0-16 dB; dan pada 64-QAM, OFDM lebih baik saat SNR 0-4 dB dan SC-FDMA lebih baik saat SNR 5-16 dB.

Faktor penggunaan kanal *Rayleigh fading* dalam pentransmisiian citra menghasilkan bahwa SC-FDMA memiliki ketahanan noise yang lebih tinggi saat menggunakan modulasi QPSK dengan nilai PAPR yang stabil di angka 0,9 dB, OFDM memiliki ketahanan *noise* yang lebih tinggi saat menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM dengan rata-rata nilai PAPR yang semakin meningkat dari SNR 0 dB hingga 16 dB.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang Maha Kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjuknya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini. untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

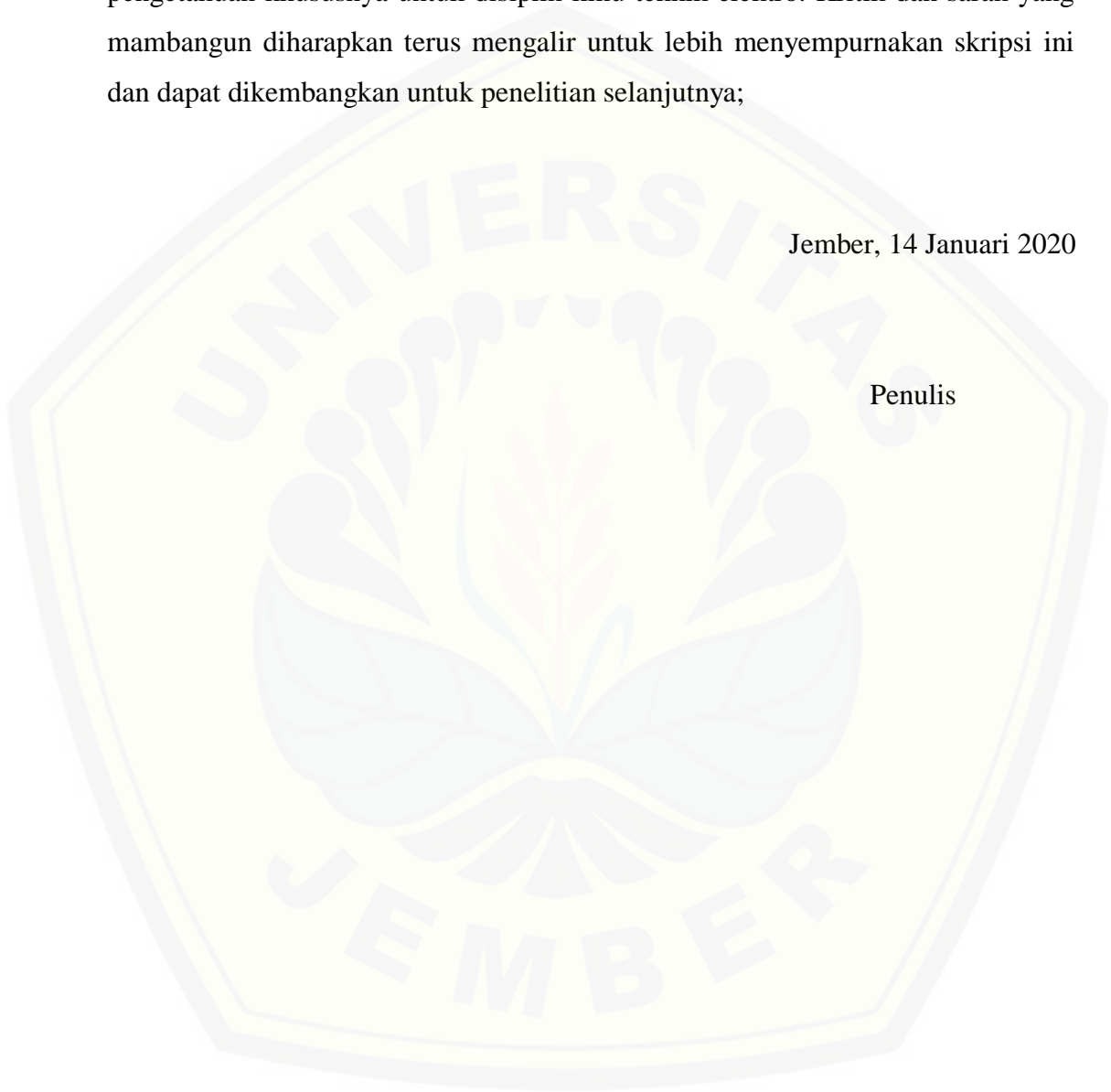
1. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember dan dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing dan memberi motivasi dari awal semester;
3. Bapak Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T. dan Bapak Dodi Setiabudi, ST., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini;
4. Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si. dan Bapak Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;
5. Kedua orang tua Ibu Ribut Dwi Purwati dan Bapak Waluyo, yang telah membesarkan, mendidik, membimbing, mendoakan tiada henti, memberi motivasi, memberi kasih sayang serta pengorbanannya selama ini;
6. Keluarga besar Universitas Jember khususnya keluarga besar Teknik Elektro 2015 dan rekan konsentrasi Telkom 2015 yang selalu mendukung;
7. Keluarga besar Lab Telekomunikasi Terapan yang memberikan ruang untuk saling belajar;
8. Keluarga UKM USEF dan komunitas YOT Jember yang telah memberikan saya tempat untuk berkembang;
9. Semesin.com dan saudara Gilang Ramadhan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;

10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, 14 Januari 2020

Penulis





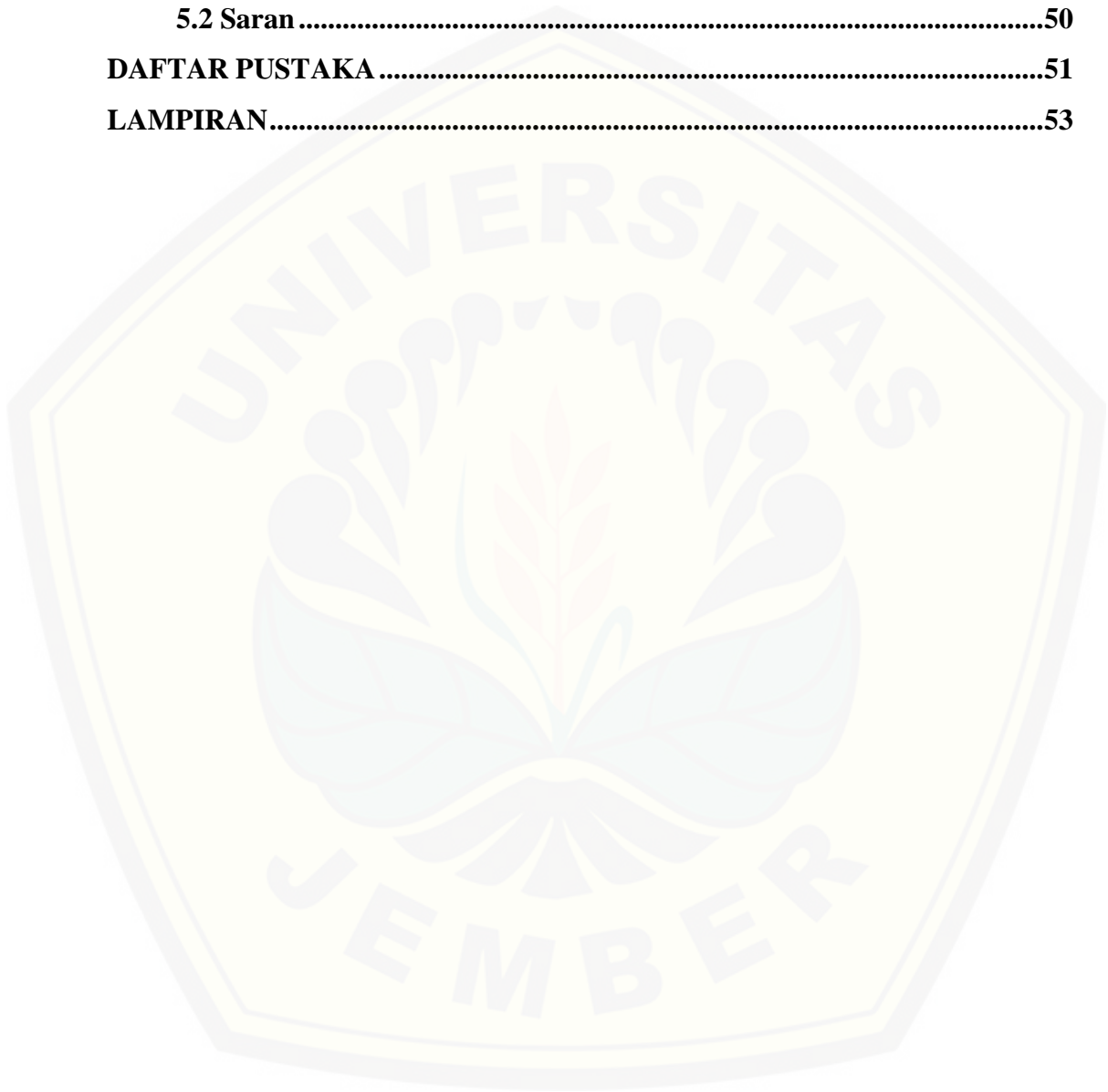
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN SAMPUL.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
RINGKASAN .....	x
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Hasil Penelitian yang Relevan .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Kompresi Citra .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Transformasi Warna dan Subsampling.....	7
2.2.2. <i>Discrete Cosine Transform (DCT)</i> .....	8
2.2.3 Kuantisasi dan Dekuantisasi .....	8
2.2.4 <i>Huffman Coding</i> .....	9
<b>2.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM) .....</b>	<b>9</b>

2.3.1 Physical Layer OFDM.....	10
2.3.2 Pemrosesan Sinyal OFDM .....	12
2.3.3 Implementasi Sinyal OFDM 802.11a.....	13
2.3.4 Kekurangan dan Kelebihan OFDM.....	15
<b>2.4 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) ...</b>	<b>15</b>
2.4.1 Subcarrier Mapping .....	16
2.4.2 SC-FDMA dan Orthogonal Frequency Division Multiple Access .....	17
<b>2.5 Modulasi .....</b>	<b>18</b>
2.5.1 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) .....	19
2.5.2 Quadrature Amplitude Modulation (QAM) .....	19
<b>2.6 Kanal Rayleigh Fading.....</b>	<b>20</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Tempat Penelitian.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Waktu Penelitian .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Instrumen Penelitian .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4 Tahap Penelitian.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 Rancangan Sistem.....</b>	<b>23</b>
3.5.1 Kompresi Citra .....	24
3.5.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM) .....	24
3.5.3 Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) .....	25
3.5.4 Modulasi Sistem .....	26
<b>3.5 Pengambilan Data.....</b>	<b>26</b>
<b>3.6 Variabel Pengujian Data.....</b>	<b>27</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Masukan Citra .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Hasil Pengujian Kinerja pada Sistem OFDM.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3 Hasil Pengujian Kinerja pada Sistem SC-FDMA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4 Analisis Perbandingan Kinerja dengan Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.....</b>	<b>37</b>



<b>4.5 Analisis Perbandingan Kinerja pada Sistem OFDM dan SC-FDMA .....</b>	<b>42</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>53</b>



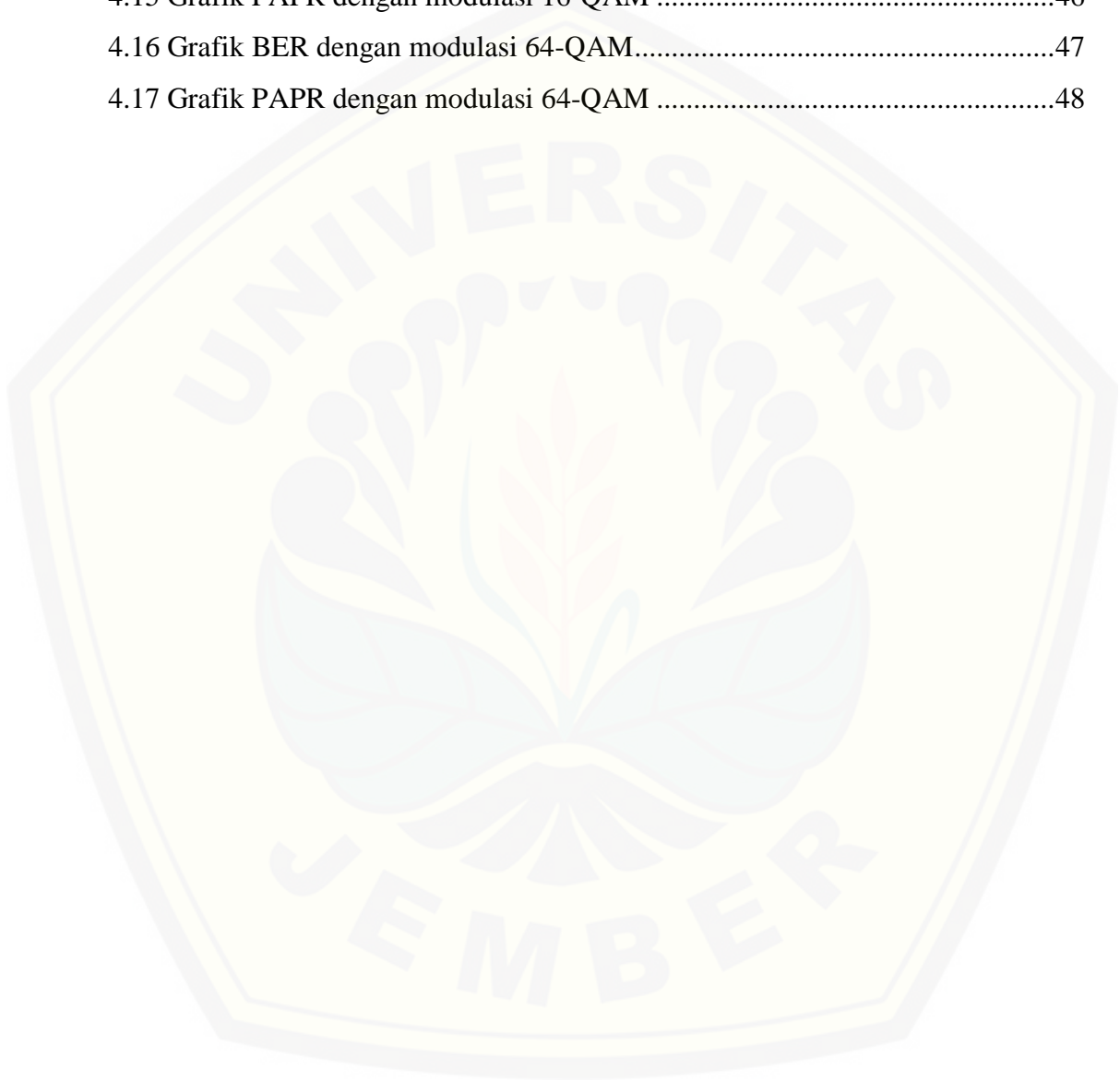
**DAFTAR TABEL**

2.1 Matriks Permasalahan Penelitian .....	5
2.2 Parameter Fisik OFDM 802.11a .....	11
3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian .....	21
4.1 Citra sebagai Data Masukan.....	30
4.2 Nilai BER dan PAPR pada sistem OFDM.....	38
4.3 Nilai BER dan PAPR pada sistem SC-FDMA.....	40
4.4 Nilai BER dan PAPR dengan modulasi QPSK.....	43
4.5 Nilai BER dan PAPR dengan modulasi 16-QAM .....	45
4.6 Nilai BER dan PAPR dengan modulasi 64-QAM .....	47

**DAFTAR GAMBAR**

2.1 Sistem modulasi <i>multi-carrier</i> .....	9
2.2 Sinyal OFDM dalam domain waktu dan frekuensi.....	10
2.3 Parameter Fisik OFDM 802.11a .....	11
2.4 Pemrosesan sinyal OFDM.....	12
2.5 Proses Pembangkitan Sinyal OFDM 802.11a.....	14
2.6 <i>Subcarrier mapping</i> dengan $M=4$ , $Q=3$ , dan $N=12$ .....	16
2.7 Perbedaan OFDM dan OFDMA .....	17
2.8 Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA .....	18
2.9 Konstelasi <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).....	19
2.10. Diagram konstelasi 16-QAM dan 64-QAM.....	20
3.1 <i>Flow chart</i> Penelitian .....	22
3.2 Blok Diagram Sistem .....	23
3.3 Diagram Blok Kompresi Citra .....	24
3.4 Diagram Blok Sistem OFDM.....	24
3.5 Diagram Blok Sistem SC-FDMA .....	25
3.6 Diagram blok SC-FDMA dengan modulasi.....	26
3.7 Diagram Perhitungan BER.....	27
3.8 Diagram Perhitungan PAPR .....	29
4.1 Masukan citra asli sebagai data ke-1, 2, dan 3.....	31
4.2 <i>Output</i> transmisi citra pada sistem OFDM berupa gambar.....	32
4.3 Grafik BER terhadap SNR pada sistem OFDM.....	33
4.4 Grafik PAPR terhadap SNR pada sistem OFDM .....	34
4.5 <i>Output</i> transmisi citra pada sistem SC-FDMA berupa gambar .....	35
4.6 Grafik BER terhadap SNR pada sistem SC-FDMA .....	36
4.7 Grafik PAPR terhadap SNR pada sistem SC-FDMA .....	37
4.8 Grafik BER terhadap SNR pada sistem OFDM.....	39
4.9 Grafik PAPR terhadap SNR sistem OFDM.....	40
4.10 Grafik BER terhadap SNR pada sistem SC-FDMA .....	41

4.11 Grafik PAPR terhadap SNR pada sistem SC-FDMA .....	42
4.12 Grafik BER dengan modulasi QPSK .....	43
4.13 Grafik PAPR dengan modulasi QPSK .....	44
4.14 Grafik BER dengan modulasi 16-QAM .....	45
4.15 Grafik PAPR dengan modulasi 16-QAM .....	46
4.16 Grafik BER dengan modulasi 64-QAM .....	47
4.17 Grafik PAPR dengan modulasi 64-QAM .....	48



DAFTAR LAMPIRAN

<b>A. Listing Program.....</b>	<b>53</b>
1. Program <i>RS_QPSK</i> (OFDM - QPSK).....	53
2. Program <i>RS_QAM16</i> (SC-FDMA - 16-QAM).....	59
3. Listing Program <i>RS_QAM16</i> (OFDM - 64-QAM) .....	64
<b>B. Hasil Pengujian OFDM.....</b>	<b>70</b>
1. OFDM Menggunakan QPSK ( <i>cameraman.jpg</i> ).....	70
2. Grafik BER/SNR ( <i>cameraman.jpg</i> ) .....	71
3. Grafik PAPR/SNR ( <i>cameraman.jpg</i> ) .....	72
<b>C. Hasil Pengujian SC-FDMA .....</b>	<b>73</b>
1. SC-FDMA Menggunakan 16-QAM ( <i>pool.jpg</i> ).....	73
2. Grafik BER/SNR ( <i>pool.jpg</i> ) .....	74
3. Grafik PAPR/SNR ( <i>pool.jpg</i> ).....	75
<b>D. Data Perbandingan Modulasi .....</b>	<b>76</b>
1. Tabel Perbandingan Kinerja OFDM ( <i>lena.jpg</i> ).....	76
2. Tabel Perbandingan Kinerja SC-FDMA ( <i>lena.jpg</i> ) .....	77
<b>E. Data Perbandingan Sistem .....</b>	<b>79</b>
1. Tabel Perbandingan Sistem dengan QPSK ( <i>cameraman.jpg</i> ).....	79
2. Tabel Perbandingan Sistem dengan 16-QAM ( <i>cameraman.jpg</i> ) .....	80
3. Tabel Perbandingan Sistem dengan 64-QAM ( <i>cameraman.jpg</i> ) .....	82
<b>F. Dokumentasi Penelitian.....</b>	<b>84</b>

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi telekomunikasi berbasis *wireless* saat inikan lama semakin berkembang baik dalam hal kecepatan maupun kualitas data yang tinggi. Perkembangan teknologi tersebut merupakan hal yang dibutuhkan dalam sistem komunikasi digital di mana mempunyai efisiensi yang tinggi dengan *bandwidth* yang terbatas, namun mampu memberikan performansi yang baik. Teknologi 4G *Long Term Evolution* (LTE) menawarkan kecepatan akses data yang tinggi dalam sistem komunikasi baik berupa pengiriman gambar, video, dan layanan internet (Amilia, 2017). Terdapat dua *multiple access* dalam LTE yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *downlink* dan *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada sisi *uplink* (Holma & Toskala, 2007).

OFDM merupakan sistem yang sesuai untuk diterapkan pada transmisi berbasis *wireless* berkecepatan tinggi karena ketahanannya melawan *multipath propagation* dan penggunaan *bandwidth* yang efisien. Pada arsitekturnya, sinyal masukan dari OFDM dikonversi menjadi konverter *serial to parallel* dan *bit mapping*. Melalui konversi ini, sinyal berdomain frekuensi dikonversi menjadi sinyal berdomain waktu menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) yang kemudian disebarkan melalui kanal komunikasi hingga diubah kembali dari sinyal berdomain waktu menjadi frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Selanjutnya, sinyal dikonversi menjadi aliran *bit* menggunakan *bit mapper* hingga diterima oleh *receiver* yang dihasilkan dari konverter *parallel to serial* (Padmapriya, 2018).

OFDM ini dapat mengurangi *Inter-Symbol Interference* (ISI) dan *noise* dalam kanal komunikasi. Meski demikian, sistem OFDM memiliki permasalahan, yaitu sensitif terhadap *frequency offset* dan besarnya nilai *Peak to Average Power Ratio* (PAPR). Besarnya nilai PAPR menyebabkan daya pada *amplifier* tidak efisien sehingga perlu dikurangi dengan tujuan menghemat daya (*power saving*). Adanya distorsi dalam pentransmisian sinyal melalui kanal membuat OFDM menghasilkan nilai PAPR yang besar. Mengatasi permasalahan tersebut,



diperlukan suatu teknik yang dapat menurunkan level interferensi dan *noise* pada sisi *uplink*. Sementara itu, OFDM hanya dapat bekerja pada transmisi *downlink*. Kekurangan pada sistem OFDM ini dapat diselesaikan dengan menggunakan menggunakan SC-FDMA di sisi *uplink* karena efisiensi dayanya yang lebih baik. (Juwono, 2014).

Transmisi citra dalam kecepatan yang tinggi menjadi ketentuan utama yang diharapkan dalam sistem komunikasi 4G LTE. Umumnya, transmisi citra menggunakan transformasi FFT di mana masih memiliki kekurangan seperti banyaknya jumlah *carrier*, meningkatnya estimasi *delay*, tingginya nilai ISI dan ICI. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, transmisi citra dalam sistem komunikasi pada penelitian ini menggunakan teknik *Discrete Cosine Transform* (DCT) dalam sistem SC-FDMA. Teknik ini dapat membuat sistem untuk mereduksi nilai PAPR.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Fitri Amilia yang berjudul “Analisis Kinerja Jenis Modulasi pada Sistem SC-FDMA” menjelaskan perbandingan nilai BER dan PAPR menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM pada sistem SC-FDMA di mana dihasilkan bahwa nilai BER dengan modulasi QPSK sebesar  $10^{-3}$  dan  $E_b/N_0$  sebesar 30 dB lebih baik daripada 16-QAM dan 64-QAM serta nilai PAPR dengan modulasi QPSK bernilai 0 dB juga lebih baik daripada kedua modulasi lainnya pada kanal *Rayleigh fading* (Amilia, 2016)

Selanjutnya, terdapat penelitian oleh Fitri Amilia yang menganalisis kinerja transmisi citra yang dikirim melalui kanal AWGN dan kanal *Rayleigh fading* sebagai pembanding menggunakan teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM pada sistem OFDM. Pada penelitian tersebut dihasilkan bahwa teknik modulasi 16-QAM lebih cepat mendekati nilai standar BER  $10^{-3}$  dan rendahnya nilai  $E_b/N_0$  dengan selisih rata-rata sekitar 8 dB. (Amilia, 2017)

Berdasarkan penelitian oleh Fitri Amilia (2017), pemodelan transmisi citra yang dirancang menggunakan sumber masukan berupa gambar dan masih menggunakan sistem OFDM. Sementara pada penelitian oleh Fitri Amilia (2016), modulasi QPSK menghasilkan nilai BER dan PAPR paling baik daripada modulasi QAM yang tidak diteliti pada penelitian tahun 2017. Untuk menguji kinerja transmisinya, penulis melakukan penelitian lebih lanjut dengan



membandingkan kinerja dari sistem OFDM dan SC-FDMA pada kanal *Rayleigh fading* menggunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Sumber masukan berupa citra warna yang telah dilakukan pengkompresian citra. Tujuan dari penelitian ini yaitu membandingkan kinerja transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA dengan melihat hasil BER dan PAPR terhadap SNR yang dihasilkan pada kedua sistem.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik BER dan PAPR terhadap SNR dalam transmisi citra pada sistem 4G LTE?
2. Bagaimana perbandingan BER dan PAPR terhadap SNR dalam transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA?
3. Bagaimana perbandingan BER dan PAPR terhadap SNR dalam transmisi citra dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan penjabaran masalah dalam latar belakang, diperlukan batasan masalah agar tidak terlalu keluar dari solusi permasalahan, yaitu :

1. Masukan kompresi citra yang digunakan berupa gambar dengan format JPEG.
2. Proses kompresi citra menggunakan *Discrete Cosine Transform* (DCT) dan algoritma *Huffman*.
3. Kompresi citra menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.
4. Kanal transmisi citra yang digunakan yaitu kanal *Rayleigh fading*.
5. Parameter yang dianalisis berupa besarnya nilai BER dan PAPR terhadap SNR.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diajukan ini memiliki beberapa tujuan, di antaranya :

1. Mampu mengetahui karakteristik BER dan PAPR terhadap SNR pada sistem 4G LTE

2. Mampu menganalisis perbandingan BER dan PAPR terhadap SNR dalam transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA
3. Dapat mengetahui perbandingan kinerja dengan teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu :

1. Sebagai referensi untuk mengetahui performansi kinerja 4G LTE dengan menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM melalui nilai BER.
2. Dapat membandingkan nilai PAPR sistem OFDM dan SC-FDMA saat menggunakan kompresi citra dengan metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) dan *Huffman Coding* melalui kanal *Rayleigh Fading*.
3. Dapat mengetahui teknik modulasi yang baik melalui nilai BER dan PAPR yang dihasilkan dalam sistem OFDM dan SC-FDMA.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hasil Penelitian yang Relevan

Pada sub bab ini diberikan tabel yang berisikan tinjauan penelitian yang pernah ada sebelumnya sebagai bahan rujukan penulis untuk penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2.1 Matriks Permasalahan Penelitian

No.	Masalah	Solusi	Judul Jurnal	Nama (Tahun)	Kelemahan
1	Kinerja <i>transceiver</i> OFDM untuk pengiriman citra hitam putih dengan modulasi 16 QAM lebih bagus daripada 16 PSK melalui kanal AWGN	Dikembangkan <i>input</i> berupa citra warna melalui kanal dan <i>Rayleigh Fading</i> dengan menggunakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM	Analisis Kinerja Transmisi Citra Menggunakan Teknik Modulasi QAM pada Sistem <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Fitri Amilia dan Mulyono (2017)	Sistem transmisi yang digunakan hanya OFDM serta tidak meneliti modulasi QPSK yang juga merupakan ketetapan modulasi sistem 4G.
2	Sistem konvensional DFT-OFDM masih memiliki PAPR yang tinggi	Menggunakan DWT-OFDM dengan <i>wavelet familyorthogonal</i> dan <i>biorthogonal</i>	<i>A Study on Peak-to-Average Power Ratio in DWT-OFDM Systems</i>	Filbert H. Juwono, Randy S. Putra, and Dadang Gunawan (2014)	Masih menggunakan sistem OFDM
3	Perbandingan nilai BER dengan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM pada SC-FDMA	Menggunakan modulasi QPSK dengan nilai BER paling baik	Analisis Kinerja Jenis Modulasi pada Sistem SC-FDMA	Fitri Amilia, Mulyono, Jumarwan (2016)	Tidak meneliti pengaruh penambahan <i>equalizer</i> pada sisi <i>receiver</i> terhadap hasil kinerja BER dan PAPR.

4	Besarnya nilai PAPR pada sistem OFDM sehingga terjadi <i>nonlinear distortion</i> yang menghasilkan <i>out-of-band</i>	Menggunakan <i>clipping and peak windowing</i> untuk mengurangi PAPR	<i>An Efficient PAPR Reduction Scheme for OFDM System using Peak Windowing and Clipping</i>	R. K. Singh and Maniraguha Fidele (2015)	Belum meneliti kinerja sistem dengan menggunakan kanal <i>Rayleigh fading</i>
5	Meningkatnya <i>carrier</i> , estimasi <i>delay</i> , ISI dan ICI.	Menggunakan teknik DWT pada sistem SC-FDMA sehingga <i>noise</i> dan interferensi berkurang	<i>Image Transmission in 4G LTE using DWT based SC-FDMA System</i>	V.M. Padmapriya and K Thenmozhi (2018)	Belum mengembangkan algoritma enkripsi untuk keamanan teknik SC-FDMA
6	Dibutuhkan kecepatan data dan efisiensi yang tinggi dengan spektrum <i>bandwidth</i> terbatas	Menggunakan teknologi IEEE 802.16e yaitu OFDMA dan SC-FDMA	Perbandingan Performansi antara SC-FDMA dan OFDMA	Putri Nurina Ayuningtias, Rina Pudji Astuti, Budi Prasetya (2009)	Proses estimasi kanal pada sistem SC-FDMA tidak sempurna karena peletakan operasi FFT di pemancar dan IFFT di penerima yang tidak sesuai.

## 2.2 Kompresi Citra

Citra merupakan informasi multimedia dengan jumlah data yang sangat besar di mana kualitasnya sering dikaitkan dengan resolusi citra. Resolusi citra berarti ukuran panjang dan lebar dari sebuah citra dalam satuan piksel. Kedalaman intensitas warna berarti banyaknya bit yang digunakan untuk tiap kode warna yang dinyatakan dalam satuan bit/piksel. Semakin tinggi resolusi citra, semakin banyak jumlah piksel dan kedalaman intensitas warna sehingga mengakibatkan semakin baik kualitas citranya. Tingginya resolusi citra dan kedalaman intensitas warna berarti jumlah bit yang ada semakin banyak sehingga mentransmisikan

citra dengan resolusi yang tinggi membutuhkan penyimpanan data citra untuk jumlah bit yang ditransmisikan. Oleh karena itu, untuk meminimalkan jumlah bit yang ditransmisikan, digunakan suatu algoritma kompresi citra.

Kompresi citra dapat dilakukan dalam domain spasial maupun domain frekuensi. Pada kompresi citra dalam domain spasial, redundansi data yang relatif tinggi dalam citra dikodekan dengan menggunakan bit yang lebih kecil. Redundansi berarti banyaknya piksel dari citra memiliki kesamaan secara visual atau kesamaan nilai. Sementara pada kompresi citra dalam domain frekuensi, perlu dilakukan proses transformasi dari domain spasial ke domain frekuensi. Metode transformasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Discrete Cosine Transform* (DCT) yang digunakan dalam kompresi JPEG 2000.

Kompresi citra terbagi menjadi dua teknik, yaitu *lossy* dan *loseless*. Teknik kompresi citra *loseless* bekerja dengan membuat kapasitas *file* dari citra sekecil mungkin yaitu dengan mengoptimalkan teknik pengkodean data redundan yang terdapat pada citra asli. Dalam hal tersebut, kompresi *loseless* terjadi tanpa ada perubahan data. Salah satu metode yang menerapkan teknik kompresi *loseless* yaitu metode *Huffman*. Teknik kompresi citra *lossy* bekerja dengan mengurangi jumlah bit pada informasi detil citra seperti *luminance* dan *chrominance* (warna). Salah satu metode yang menerapkan teknik kompresi *lossy* yaitu DCT dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) di mana bekerja dalam domain frekuensi (Margiutomo, 2014).

### **2.2.1 Transformasi Warna dan Subsampling**

Kompresi JPEG menggunakan ruang warna YCbCr yang mampu memisahkan komponen Y (*luminance*) dan *chrominance* (Cb dan Cr). Kedua komponen memiliki fungsi yang berbeda di mana komponen *luminance* dapat menyimpan semua informasi visual citra, sedangkan komponen *chrominance* dapat menyimpan informasi warna citra. Adapun kompresi JPEG lebih melakukan pemampatan data pada komponen *chrominance* pada level kuantisasi dan subsampling.

### **2.2.2. Discrete Cosine Transform (DCT)**

Metode *Discrete Cosine Transform* (DCT) mengubah data citra masukan ke dalam format yang dapat mengurangi redundansi piksel. Untuk memetakan



piksel ke dalam satu set koefisien, teknik perubahan pengkodean menggunakan reversibel dan linier matematika transformasi. Proses selanjutnya dibutuhkan proses kuantisasi dan pengkodean. Transformasi 2D-DCT dinyatakan dalam persamaan (2.1) berikut :

$$C(u, v) = D(u)D(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \cos \left( \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right) \cos \cos \left( \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad (2.1)$$

dengan  $u, v = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$

Sementara invers 2D-DCT transformasi dinyatakan dalam persamaan (2.2) berikut:

$$f(x, y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} D(u)D(v) \left( \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right) \cos \cos \left( \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad (2.2)$$

dengan  $D(u) = (1/N)^{1/4}$  untuk  $u = 0$  dan

$$D(u) = (2/N)^{1/4} \text{ untuk } u = 1, 2, 3, \dots, (N-1)$$

### 2.2.3 Kuantisasi dan Dekuantisasi

Pada tahap kuantisasi, koefisien DCT yang tidak penting dihilangkan guna merekonstruksi citra yang baru. Proses kuantisasi menggunakan teknik *lossy* dengan menyeleksi frekuensi yang tinggi untuk dihilangkan. Proses kuantisasi dilakukan dengan menghilangkan nilai data dengan konstanta  $Q$  dan proses pembulatan. Secara matematis, proses kuantisasi dirumuskan sebagai berikut.

$$I^Q = \text{round}(I/Q) \quad (2.3)$$

dengan :

$I$  = data asli

$Q$  = data hasil kuantisasi

Sebagai contoh, terdapat data  $I = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$  dan konstanta kuantisasi  $Q = 5$  sehingga diperoleh hasil kuantisasi  $I^Q = (0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2)$ . Artinya, terjadi redundan “0” sebanyak dua, “1” sebanyak lima, dan “2” sebanyak tiga. Untuk mengembalikan data hasil kuantisasi ke dalam bentuk aslinya, dilakukan proses balik yang disebut sebagai *dekuantisasi*. Proses dekuantisasi secara matematis dinyatakan sebagai berikut,

$$I = I^Q * Q \quad (2.4)$$

Melalui persamaan tersebut dan nilai  $Q = 5$ , diperoleh data hasil rekonstruksi,  $I = (0, 0, 5, 5, 5, 5, 5, 10, 10, 10)$ . Terlihat data asli dan data hasil rekonstruksi memiliki perbedaan yang berarti terjadi perubahan data. Perubahan data tersebut

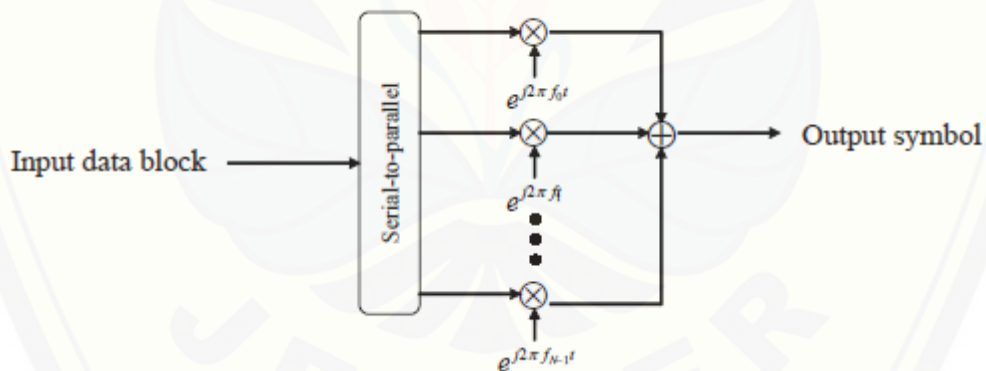
disebut dengan *proses irreversible*. Untuk menghindari perubahan informasi visual yang signifikan akibat proses kuantisasi, pada umumnya proses ini dilakukan untuk data dalam domain frekuensi, seperti DCT (*Discrete Cosine Transform*) dan DWT (*Discrete Wavelet Transform*).

#### 2.2.4 Huffman Coding

*Huffman encoding* mengacu pada banyaknya data yang muncul dari yang terbanyak hingga terendah yang kemudian direpresentasikan ke dalam pohon biner. Data dengan frekuensi muncul yang tertinggi dikodekan dengan jumlah bit terkecil dan terendah dikodekan dengan jumlah bit tertinggi.

### 2.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM)

OFDM merupakan sistem *multi-carrier* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1 periode simbol dan spektrum sinyal mempunyai bentuk  $\text{sinc}(x)/x$ . Efisiensi spektrum OFDM sangat tinggi dibandingkan dengan *frequency division multiplexing* (FDM). Tiap kanal FDM dipisahkan dari kanal lainnya oleh *frequency guard band* untuk mengurangi interferensi antar kanal yang berdekatan.



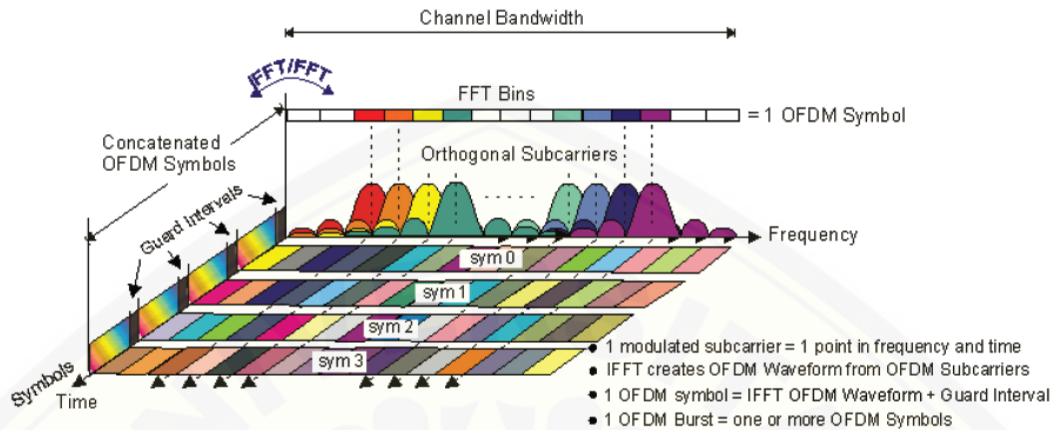
Gambar 2.1 Sistem modulasi *multi-carrier*

(Sumber: Myung & Goodman, 2008)

Pada Gambar 2.2 diilustrasikan konsep dari sinyal OFDM dan hubungan antara domain frekuensi dan waktu. Pada domain frekuensi, beberapa sinyal yang berdekatan (*subcarrier*) secara independen dimodulasikan dengan data kompleks. Invers transformasi FFT (IFFT) digunakan pada *subcarrier* domain frekuensi untuk menghasilkan simbol OFDM dalam domain waktu. Sementara pada domain frekuensi, *guard interval* disisipkan di antara tiap simbol untuk mencegah



timbulnya *inter-symbol interference* (ISI) pada *receiver* yang disebabkan oleh *delay* yang tersebar di kanal radio. Beberapa simbol dapat digabungkan untuk membentuk *burst signal* OFDM. Pada *receiver*, transformasi FFT digunakan pada simbol OFDM untuk membentuk kembali bit data asli.



Gambar 2.2 Sinyal OFDM dalam domain waktu dan frekuensi

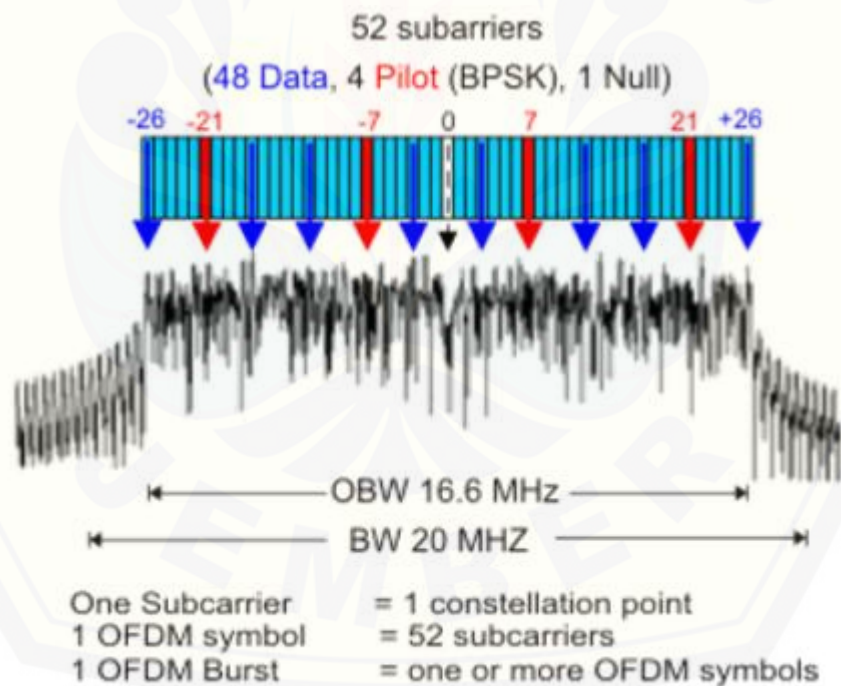
(Sumber: Keysight Technologies, Inc.)

### 2.3.1 Physical Layer OFDM

Sinyal IEEE 802.11a/g dan HIPERLAN/2 merupakan sinyal pulsa (*burst*). Jumlah *bandwidth* kanal sebesar 20 MHz dengan *bandwidth* yang dapat dipakai sebesar 16,6 MHz. Satu simbol OFDM memiliki 52 subcarrier (48 adalah *data subcarrier* dan 4 adalah *pilot subcarrier*). Bagian tengah *subcarrier* merupakan “DC” atau “Null”, *zero subcarrier* yang tidak digunakan. Semua *data subcarrier* menggunakan format modulasi yang sama dalam sebuah *burst*. Bagaimanapun, format modulasi dapat bervariasi dari burst ke burst. Format modulasi *data subcarrier* yang dapat digunakan yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. *Pilot subcarrier* selalu dimodulasikan menggunakan BPSK dan besaran dan fasa yang diketahui. Tiap *subcarrier* OFDM membawa simbol data termodulasi atau “titik konstelasi”, sepanjang informasi besaran dan fasanya.

Tabel 2.2 Parameter Fisik OFDM 802.11a

<b>802.11a OFDM PHY Parameters</b>	
<i>BW</i>	20 MHz
<i>OBW</i>	16.6 MHz
<i>Subcarrier Spacing</i>	312.5 KHz (20 MHz/64 Pt FFT)
<i>Information Rate</i>	6/9/12/18/24/36/48/54 Mbits/s
<i>Modulation</i>	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
<i>Coding Rate</i>	1/2, 2/3, 3/4
<i>Total Subcarrier</i>	52 (Freq. Index -26 to +26)
<i>Data Subcarrier</i>	48
<i>Pilot Subcarrier*</i>	4 (-21, -7, +7, +21) *Selalu BPSK
<i>DC Subcarrier</i>	Null (0 subcarrier)



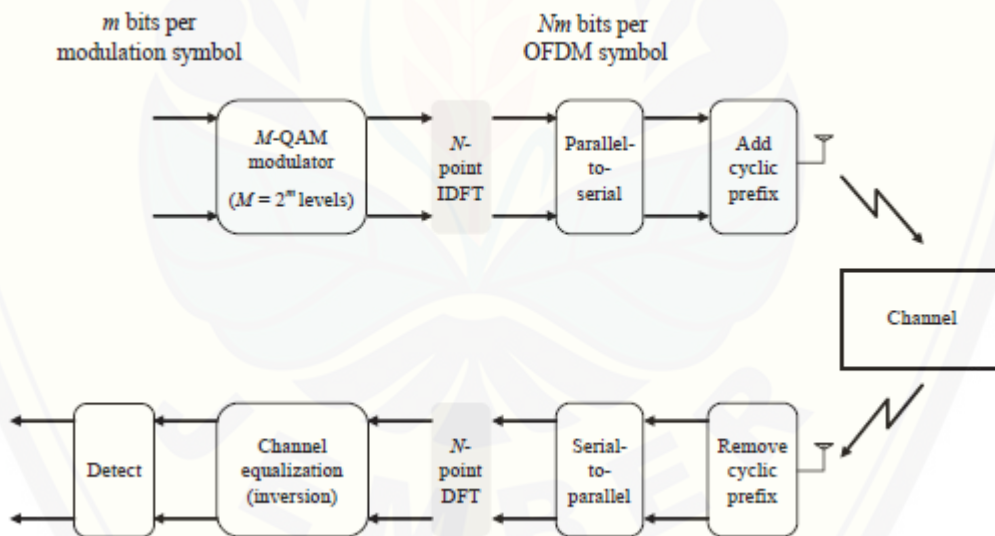
Gambar 2.3 Parameter Fisik OFDM 802.11a

(Sumber: Keysight Technologies, Inc.)

### 2.3.2 Pemrosesan Sinyal OFDM

Konsep dasar OFDM yaitu membagi sinyal digital berkecepatan tinggi menjadi beberapa sinyal yang lebih lambat dan mentransmisikan sinyal tersebut ke dalam pita frekuensi yang terpisah. Sinyal yang lambat tersebut merupakan frekuensi yang ditransmisikan untuk membentuk satu bentuk gelombang.

*Discrete Fourier Transform* (DFT) dan inversnya (IDFT) merupakan teknik pengolahan sinyal pada implementasi OFDM. Biasanya, transformasi tersebut sering disebut dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan invers FFT (IFFT). Gambar 2.3 menunjukkan blok pemancar dan *receiver* OFDM menggunakan teknik pemrosesan sinyal. *Digital baseband modulator*, yaitu *quadrature amplitude modulation* (QAM), mentransformasikan sinyal masukan biner menjadi serangkaian simbol modulasi multilevel bernilai kompleks. Prosesor sinyal kemudian menggunakan IDFT pada serangkaian simbol modulasi  $N$  untuk menghasilkan satu simbol OFDM, terdiri dari satu simbol modulasi yang telah ditransformasi di tiap  $N$  *sub-band* frekuensi.



Gambar 2.4 Pemrosesan sinyal OFDM

(Sumber: Myung & Goodman, 2008)

$N$  *sub-band* frekuensi yang dihasilkan dari IDFT ditransmisikan secara berurutan melewati *fading channel* dan *receiver* menggunakan DFT untuk membentuk kembali  $N$  simbol modulasi domain waktu dari simbol domain frekuensi yang diterima. Operasi *channel inversion* mengimbangi distorsi linier yang diketahui dari propagasi *multipath*. Kemudian, *detector* (demodulator)

memproduksi sinyal biner yang sesuai dengan masukan asli dari pemancar OFDM. Untuk mengurangi interferensi antar simbol modulasi, durasi simbol tiap *sub-band*,  $t_{sub}$  detik, harus lebih besar daripada *delay spread* maksimum yang tersebar pada kanal ( $t_{sub} > t_{max}$ ). Durasi simbol *sub-band* bernilai sama besar dengan jumlah *sub-band* ( $t_{sub} = N \cdot t_{mod}$ ), di mana  $t_{mod}$  detik merupakan durasi dari simbol modulasi. Sehingga, jumlah minimal *sub-band* yaitu  $N > t_{max}/t_{mod}$ . Untuk kanal dengan *rmsdelay spread* maksimum sebesar 10us dan transmisi dengan simbol modulasi 0.13 us, maka  $N > 76$  *sub-band*. Sementara pada spesifikasi LTE, terdapat 512 *subcarrier* dalam kanal 5 MHz. Sehingga, sistem dapat beroperasi tanpa *inter-symbol interference* dalam kanal dengan durasi *path* hingga  $512 \times 0.13 = 66.7$  us.

Meskipun operasi dalam Gambar 2.3 dapat mengeliminasi *inter-symbol interference* dari sinyal yang lambat dalam pita frekuensi yang berbeda, *delay spread* pada kanal masih dapat menimbulkan interferensi antar simbol OFDM sehingga diperlukan *guard time*,  $t_g$  detik, antara simbol OFDM dengan  $t_g \geq t_{max}$ . *Guard time* ini berhubungan dengan waktu transmisi modulasi  $G$ . Selama berlangsungnya *guard time*, pemancar menghasilkan sinyal modulasi  $G$  yang telah ditransformasi oleh prosesor IDFT pada awal tiap interval transmisi simbol OFDM. Sinyal modulasi  $G$  yang ditransmisikan selama berlangsungnya *guard time* disebut sebagai *cyclic prefix* (CP) dari simbol OFDM. *Equalizer* domain frekuensi (*channel inversion*) beroperasi pada simbol keluaran dalam tiap pita frekuensi.

### 2.3.3 Implementasi Sinyal OFDM 802.11a

Sebuah sinyal *carrier* OFDM 802.11a merupakan penjumlahan dari satu atau lebih simbol OFDM yang masing-masing terdiri dari 52 *subcarrier* ortogonal dengan data *baseband* pada tiap *subcarrier* secara independen termodulasi menggunakan *quadrature amplitude modulation* (format yang tersedia: BPSK, QPSK, 16-QAM, atau 64-QAM).

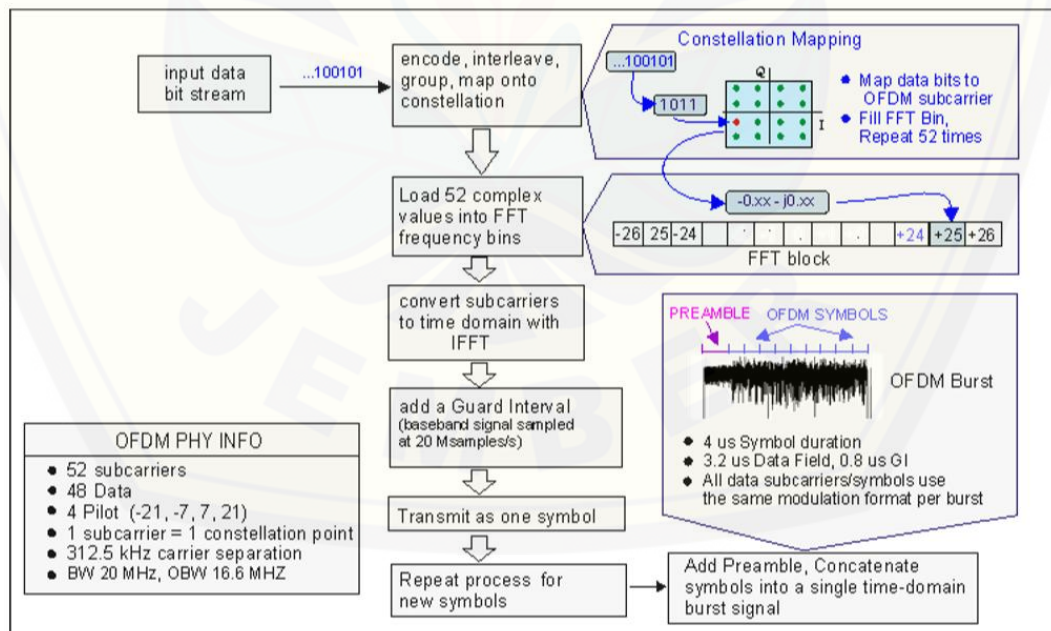
Untuk memulai proses pembangkitan sinyal, data masukan berupa *bit stream* dikodekan dengan *convolutional coding* dan *interleaving*. Tiap *data stream* dibagi menjadi kelompok “n” bit (1 bit BPSK, 2 bit QPSK, 4 bit 16-QAM, atau 6 bit 64-QAM) dan dikonversi menjadi bilangan kompleks ( $I+jQ$ ) yang



merepresentasikan titik konstelasi. Besarnya *bit rate* akan berbeda tergantung format modulasi yang digunakan, konstelasi 64-QAM (6 bit tiap waktu) dapat memiliki *bit rate* 54 Mbps sementara konstelasi QPSK (2 bit tiap waktu) dapat memiliki *bit rate* hanya 12 Mbps.

Kemudian, 52 blok IFFT diproses di mana 48 blok mengandung titik konstelasi yang dipetakan ke dalam indeks *frequency offset* yang memiliki rentang -26 hingga +26, tidak termasuk 4 pilot dan blok nol. Ada 4 pilot subcarrier yang disisipkan ke tempat indeks *frequency offset* -21, -7, +7, +21. Blok nol merupakan *Null* atau *DC subcarrier* dan tidak digunakan di mana memiliki nilai 0 ( $0+j0$ ).

Ketika blok FFT selesai dimuat, kemudian *Inverse FFT* dikomputasi, memberikan satu set sampel domain waktu kompleks yang merepresentasikan gelombang *subcarrier* OFDM yang telah terkombinasi. Sampel habis pada 20 Msps untuk membentuk durasi  $3,2 \mu\text{s}$  ( $20 \text{ Msps}/64$ ) gelombang OFDM. Untuk melengkapi simbol OFDM, durasi  $0,8 \mu\text{s}$  *Guard Interval* (GI) ditambahkan ke awalan gelombang OFDM. Penambahan ini menghasilkan simbol OFDM tunggal dengan durasi  $4 \mu\text{s}$  dalam panjang, ( $3,2 \mu\text{s} + 0,8 \mu\text{s}$ ). Proses ini diulang untuk membentuk simbol-simbol OFDM tambahan pada bit data masukan yang lain.



Gambar 2.5 Proses Pembangkitan Sinyal OFDM 802.11a

(Sumber: Keysight Technologies, Inc.)

### 2.3.4 Kekurangan dan Kelebihan OFDM

Kelebihan utama OFDM dalam sistem radio *broadband* yaitu kuatnya reduksi dalam *inter-symbol interference*. Secara umum, OFDM memiliki kelebihan sebagai berikut:

1. Kompleksitas *receiver* lebih rendah daripada sistem *single carrier* dengan *equalizer* domain waktu untuk *delay spread* kanal.
2. Efisiensi spektrum tinggi karena OFDM menggunakan *orthogonal subcarrier* yang bertindihan dalam domain frekuensi.
3. Modulasi dan demodulasi yang masing-masing diimplementasikan menggunakan IDFT dan DFT, dan algoritma *fast Fourier transform* (FFT) dapat diaplikasikan untuk membuat semua sistem efisien.
4. Kapasitas dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan *data rate per sub-carrier* dengan *signal-to-noiseratio* (SNR) dari satu *sub-carrier*.

Kekurangan utama OFDM yaitu tingginya nilai *peak-to-average-ratio* (PAPR). Sinyal yang ditransmisikan adalah jumlah dari semua *subcarrier* termodulasi. Tingginya puncak amplitudo sinyal terjadi karena banyak *subcarrier* yang berada dalam fase untuk beberapa urutan *input*. Puncak amplitudo yang tinggi tersebut dapat membebani penguat daya pemancar. OFDM juga lebih rentan terhadap *frequency offset* dan relatif terhadap teknik transmisi domain waktu.

Organisasi standar 3GPP telah menetapkan OFDM untuk transmisi *downlink* di sistem seluler masa depan dan SC-FDMA untuk transmisi *uplink*.

### 2.4 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Secara umum, teknik SC-FDMA merupakan gabungan dari sistem SC-FDE (*Single Carrier Frequency Domain Equalization*) dan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). SC-FDMA merupakan teknik *multiple access* yang menggunakan *multicarrier* yang saling ortogonal dan merupakan modifikasi dari OFDMA yang ditambahkan operasi DFT. Operasi DFT mentransformasikan simbol data dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Transmisi sinyal pada SC-FDMA merupakan *single carrier signal* sehingga PAPR yang dihasilkan lebih rendah daripada OFDMA dengan transmisi sinyalnya yang *multicarrier*. Hal

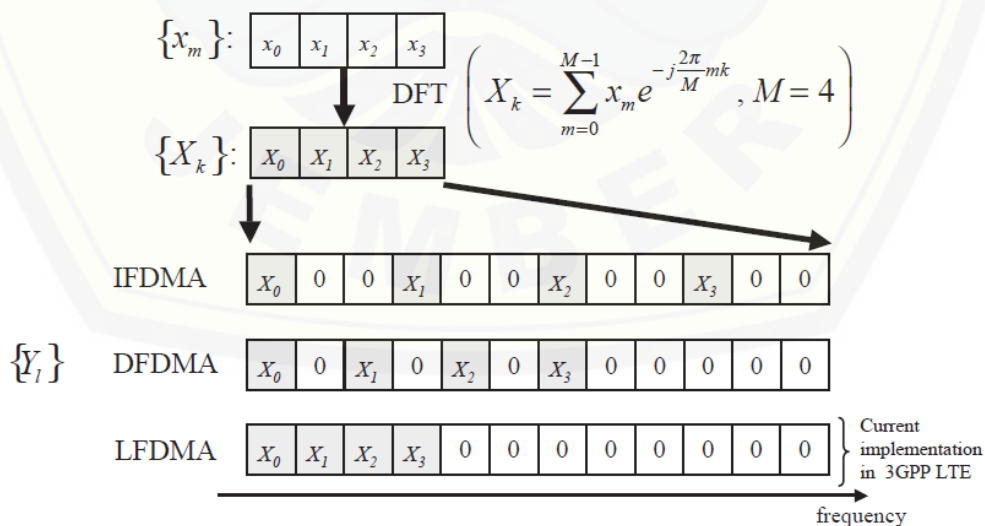


ini terjadi karena puncak *single carrier* membutuhkan daya yang sedikit untuk transmisi dibandingkan dengan *multicarrier subcarrier*. Minimalnya kebutuhan daya tersebut dapat diatasi dengan penggunaan *spreading code* seperti DFT dan IFFT dengan ukuran yang sama. Adanya *spreading code* ini membuat PAPR pada kedua jenis *subcarrier* menjaid sama.

Sistem SC-FDMA hampir sama dengan OFDMA yaitu membagi *bandwidth* transmisi menjadi beberapa *subcarrier* yang saling ortogonal. Adanya penambahan *cyclic prefix* (CP) atau *guard interval* secara periodik pada SC-FDMA saat pentransmision sinyal dapat menghindari ternyadinya *inter symbol interference* (ISI) serta penyederhanaan *receiver*.

### 2.4.1 Subcarrier Mapping

Terdapat dua jenis pemetaan *subcarrier* dalam sistem SC-FDMA yaitu *localized* (LFDMA) dan *distributed* (DFDMA). Pada LFDMA, simbol yang dimodulasikan dipetakan ke  $M$ -*subcarrier* yang berdekatan, sedangkan pada DFDMA simbol dipetakan dengan selang jarak yang sama antar simbol pada kanal *subcarrier*. Adapun  $N-M$  *subcarrier* yang tidak terpakai berupa *zero amplitude* yang dihasilkan dari IDFT. Jenis pemetaan DFDMA yang memiliki kasus khusus yaitu *interleaved SC-FDMA* (IFDMA) merupakan pemetaan *subcarrier* yang sangat efisien karena pemancar tidak memerlukan penggunaan DFT dan IDFT dalam memodulasi sinyal dalam domain waktu.

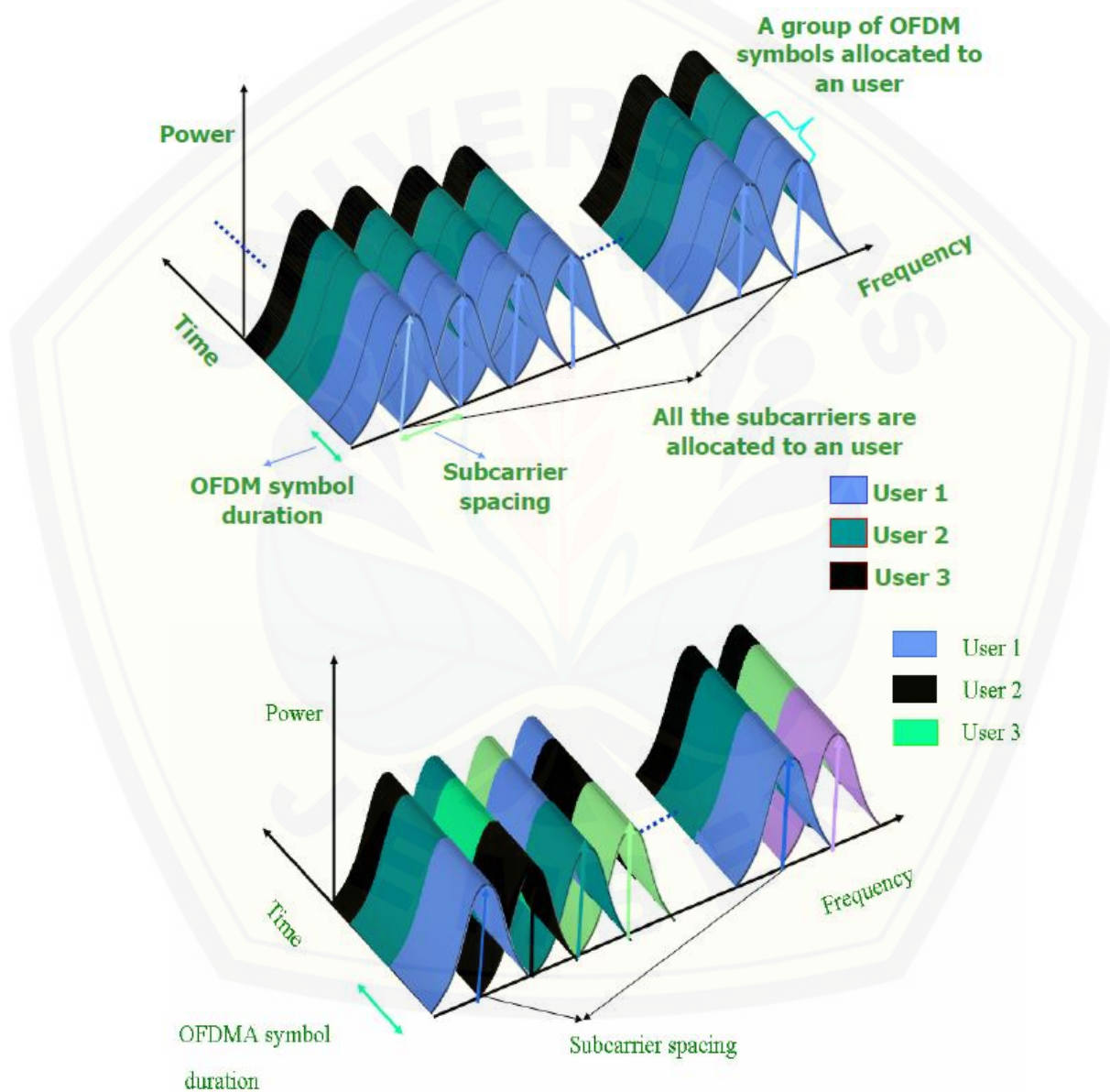


Gambar 2.6 Subcarrier mapping dengan  $M=4$ ,  $Q=3$ , dan  $N=12$

(Sumber: Myung & Goodman, 2008)

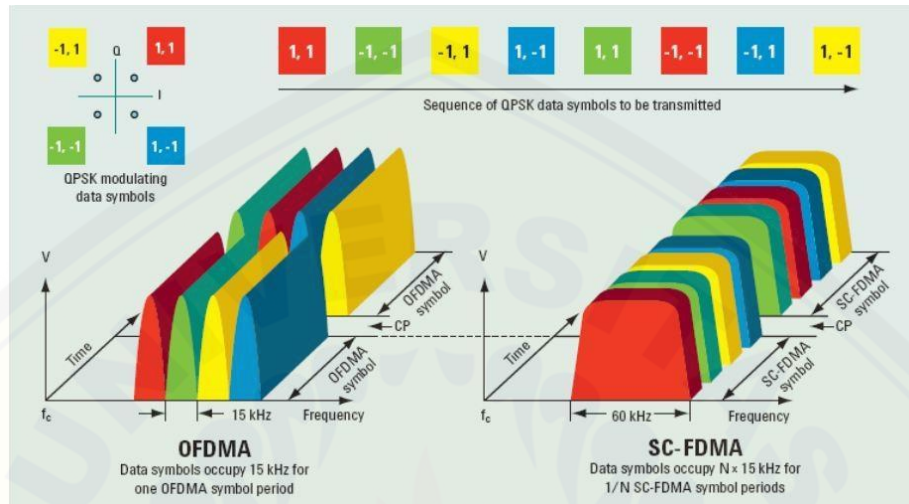
### 2.4.2 SC-FDMA dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*

OFDMA memiliki perbedaan dengan OFDM, perbedaan yang mendasar antara OFDMA dengan OFDM adalah pada OFDMA dalam satu subcarrier diperbolehkan diduduki oleh satu atau beberapa user yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. Sedangkan pada OFDM dalam satu subcarrier hanya diperbolehkan diduduki oleh user yang memiliki simbol OFDM yang sama. Perbedaan antara OFDMA dan OFDM ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perbedaan OFDM dan OFDMA dalam domain waktu dan frekuensi  
(Sumber: Srikanth, 2007)

Pada OFDMA, setiap simbol dibawa oleh 1 *subcarrier*, sedangkan pada SC-FDMA beberapa setiap simbol dibawa oleh beberapa *subcarrier* (Rudyanto, 2010). Pada Gambar 2.8 (kanan) dapat dilihat bahwa pada SC-FDMA tiap simbol disebar ke banyak *subcarrier*. Perbedaan lainnya yaitu adanya proses DFT pada *transmitter* SC-FDMA.



Gambar 2.8 Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA

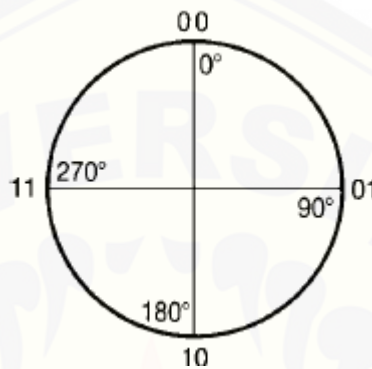
(Sumber: Moray, 2013)

## 2.5 Modulasi

Modulasi merupakan proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan mengubah-ubah amplitudo, fasa, atau frekuensi dari sinyal *carrier* sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. *The 3rd Generation Partnership Project* (3GPP) telah menetapkan standar modulasi yang dapat digunakan dalam LTE dalam arah *uplink* maupun *downlink* yaitu modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-level Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM), dan *64-level Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM). Pada saat daya transmisi penuh, modulasi QPSK memungkinkan efisiensi daya *transmitter* lebih baik daripada 16-QAM dan 64-QAM. Pada sistem, masing-masing *subcarrier* dapat menggunakan jenis modulasi yang berbeda sesuai dengan kualitas kanal atau biasa disebut dengan modulasi adaptif.

### 2.5.1 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Pada QPSK, terdapat 4 level sinyal atau simbol yang ditransmisikan karena setiap konstelasi simbol merepresentasikan 2 bit biner atau setara dengan  $2^n$ . Adapun simbol yang direpresentasikan berupa bit biner 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing level sinyal disimbolkan dengan perbedaan fasa  $90^\circ$ . *Constellation* atau *phase state diagram* yang merupakan hubungan antara fasa dengan bit pada QPSK dapat ditunjukkan pada Gambar 2.9.



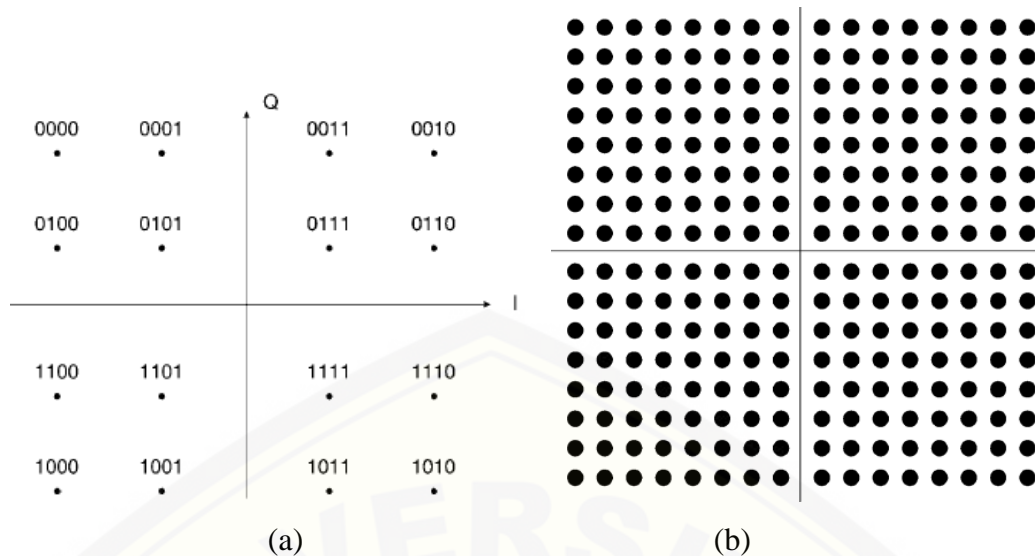
Gambar 2.9 Konstelasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

(Sumber: Freeman, 1999)

### 2.5.2 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Pada 16-QAM, satu simbol terdiri dari 4 bit informasi dan setiap bit informasi mewakili 2 bit simbol yang dibentuk dari sinyal I dan Q yang merupakan penggambaran sudut *rectangular* pada diagram polar. Garis I berada pada garis atau titik  $0^\circ$  dan garis Q berada pada titik  $90^\circ$ . Sedangkan pada 64-QAM, setiap simbol terdiri dari 6 bit sehingga setara dengan  $2^6$  atau 64 simbol. Modulasi 64-QAM digunakan saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima cukup baik (nilai SNR tinggi) karena 64-QAM sensitif terhadap *noise*, interferensi, dan kesalahan estimasi kanal sehingga rentan terhadap kesalahan. Diagram konstelasi 16-QAM dan 64-QAM dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10.





Gambar 2.10 (a) Diagram konstelasi 16-QAM; (b) Diagram konstelasi 64-QAM  
(Sumber: Freeman, 1999)

## 2.6 Kanal *Rayleigh Fading*

Transmisi sinyal antara pemancar dan penerima melewati jalur yang berbeda-beda sehingga mengakibatkan kuat sinyal pada penerima bervariasi. Fenomena transmisi sinyal dengan melewati banyak jalur disebut dengan propagasi *multipath*. Adanya propagasi *multipath* menimbulkan fluktuasi amplitudo, fasa, dan sudut datang sinyal yang tiba pada penerima disebut *multipath fading*.

Rayleigh fading terjadi apabila sinyal yang tiba pada penerima berasal dari pantulan. Fungsi densitas probabilitas (*probability density function*, pdf) dari kanal *Rayleigh fading* dirumuskan dalam persamaan (2.5) berikut.

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right), 0 \leq r \quad (2.5)$$

dengan  $r$  merupakan amplitudo selubung sinyal yang diterima,  $\sigma$  merupakan rms tegangan sinyal yang diterima sebelum deteksi selubung, dan  $\sigma^2$  merupakan daya rata-rata sinyal yang diterima sebelum deteksi selubung. Besarnya  $\sigma^2$  yaitu sebagai berikut.

$$\sigma^2 = \frac{2\sigma_v^2}{4-\pi} \quad (2.6)$$

dengan  $\sigma_v^2$  merupakan variasi sinyal yang diterima.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Pelaksanaan pemodelan dan simulasi serta pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi dan Terapan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

#### 3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan dimulai bulan Juli 2019 kurang lebih 5 bulan, berikut adalah tabel jadwal penelitian.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

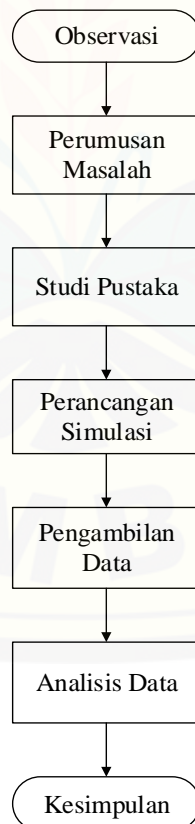
No.	Kegiatan	Bulan ke				
		1	2	3	4	5
1	Studi literatur					
2	Perancangan simulasi dan pemrograman rancangan sistem					
3	Pengambilan data penelitian					
4	Analisis nilai BER dan PAPR terhadap SNR sebagai kinerja transmisi citra					
5	Penulisan laporan dan jurnal					

#### 3.3 Instrumen Penelitian

Adapun instrumen penunjang yang dibutuhkan untuk melaksanakan penelitian ini yaitu sebuah *personal computer* dan *software* MATLAB R2019a. Instrumen tersebut digunakan sebagai media untuk menjalankan simulasi modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM pada sistem OFDM dan SC-FDMA melalui kanal *Rayleigh fading*

### 3.4 Tahap Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dimulai dengan melakukan observasi mengenai materi-materi yang berhubungan dengan OFDM dan SC-FDMA beserta teknik modulasinya, yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Berbagai kajian penelitian melalui studi pustaka dilakukan untuk merumuskan masalah melalui saran yang terdapat dalam jurnal-jurnal penelitian yang berhubungan sebagai penunjang dalam perumusan masalah tersebut. Pengambilan data dilakukan dengan memodelkan blok diagram sistem transmisi citra pada OFDM dan SC-FDMA melalui kanal *Rayleigh fading* dengan modulasi QPSK dan QAM serta menjalankan simulasi dari perancangan sistem yang telah dibuat dengan MATLAB. Adapun hasil pengambilan data disesuaikan dengan parameter penelitian yaitu BER terhadap SNR, dan PAPR. Selanjutnya, data dianalisis untuk mengetahui kinerja transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA ini. Adapun jika tahap penelitian digambarkan melalui diagram alir yaitu sebagai berikut.

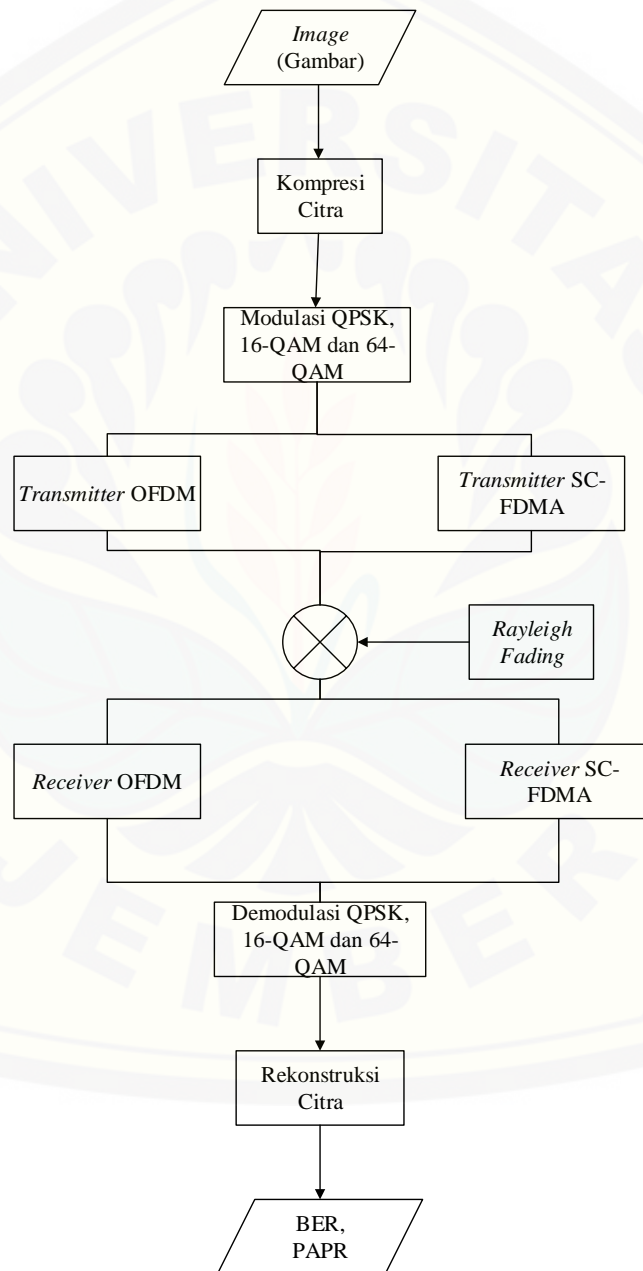


Gambar 3.1 *Flow chart* Penelitian

(Sumber: Penulis)

### 3.5 Rancangan Sistem

Perancangan sistem terdiri dari kompresi citra sebagai masukan, modulasi dan demodulasi pada sistem OFDM dan SC-FDMA melalui kanal *Rayleigh fading*, konstruksi citra, dan perhitungan BER terhadap SNR serta perhitungan PAPR.

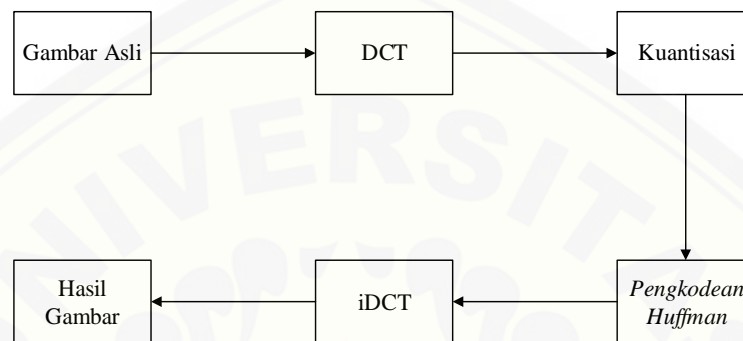


Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

(Sumber: Penulis)

### 3.5.1 Kompresi Citra

Kompresi citra yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan teknik kompresi *lossy* yaitu teknik mendapatkan data yang lebih ringkas dengan melalui suatu proses penghampiran (aproksimasi) dari data asli dengan tingkat *error* yang dapat diterima sehingga beberapa kualitas visual akan hilang dalam prosesnya dan tidak dapat dikembalikan. Adapun blok diagram kompresi citra ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.

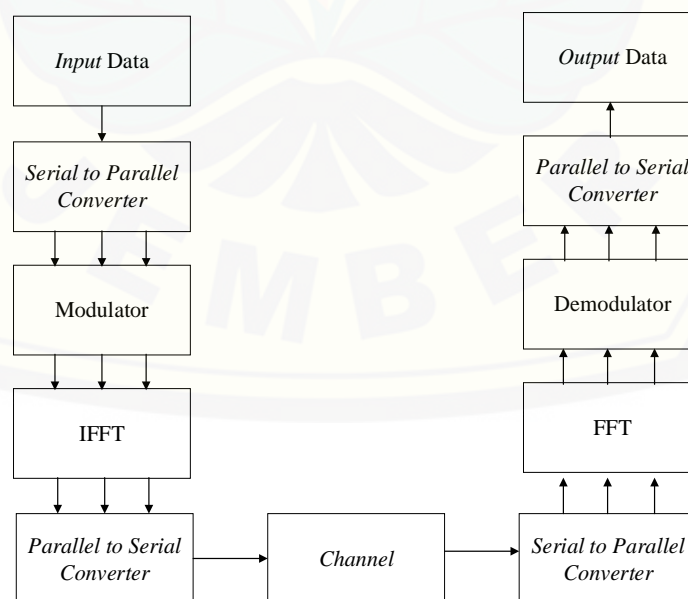


Gambar 3.3 Diagram Blok Kompresi Citra

(Sumber: Amilia, 2017)

### 3.5.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDM)

Prinsip kerja sistem OFDM terdiri dapat digambarkan pada blok diagram berikut.



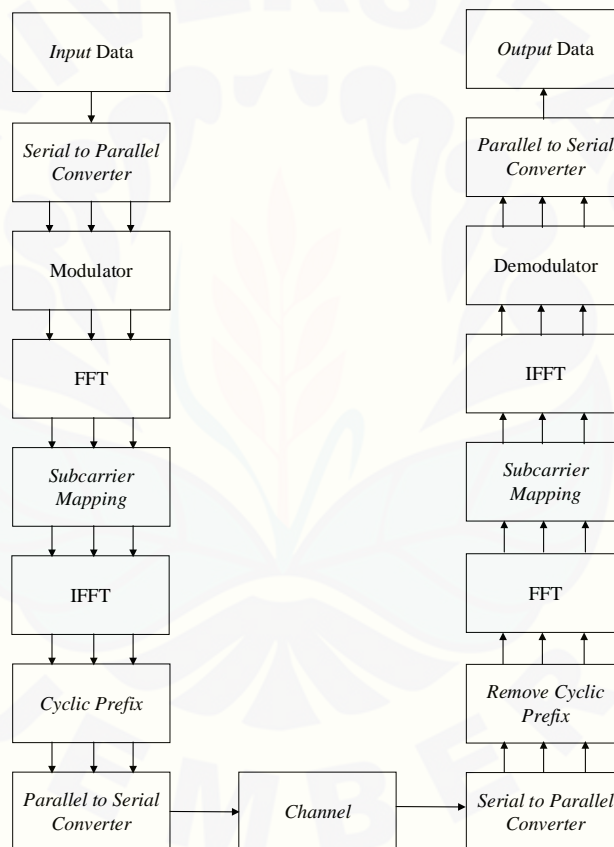
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem OFDM

(Sumber: Myung & Goodman, 2008)

Proses transmisi citra pada OFDM secara rinci terdiri dari blok-blok konverter *serial to parallel* (S/P), modulator, IFFT, dan *parallel to serial* (P/S). Adapun data masukan berupa deretan bit-bit serial yang dikonversi oleh konverter S/P. Adapun pada penerima, blok sistem beruipa kebalikan dari blok pengirim. Hanya saja sinyal yang telah ditransmisikan diproses melalui FFT hingga dikonversi melalui konverter *parallel to serial* hingga menjadi citra yang telah terkonstruksi.

### 3.5.3 Single Carrier-Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Prinsip kerja sistem SC-FDMA terdiri dapat digambarkan pada blok diagram berikut.



Gambar 3.5 Diagram Blok Sistem SC-FDMA

(Sumber: Padmapriya, 2018)

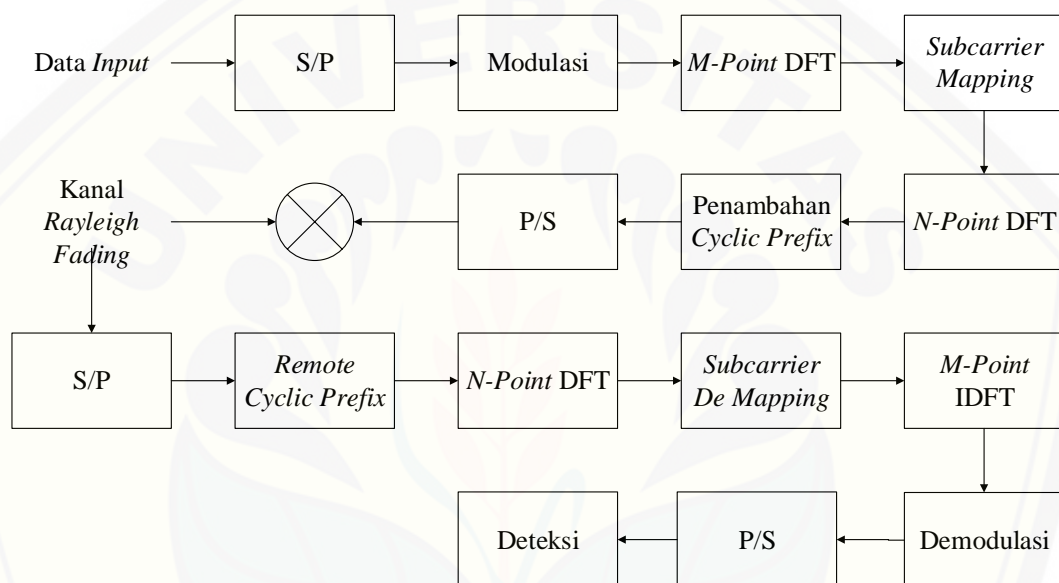
Transmisi citra pada sistem SC-FDMA melewati beberapa serangkaian proses, yaitu konverter *serial to parallel* (S/P), modulator, DWT, *subcarrier mapping*, iDWT, *cylic prefix*, konverter *parallel to serial* (P/S) *converter*. Selanjutnya, data yang didapat dari konverter P/S dilewatkan melalui kanal *Rayleigh Fading*. Proses berikutnya merupakan kebalikan atau invers dari



seangkaian proses sebelum melewati kanal dan menghasilkan *output* data dari konstruksi citra.

### 3.5.4 Modulasi Sistem

Modulasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan QPSK, 16-QAM dan 64-QAM dalam sistem OFDM dan SC-FDMA. Dalam hal ini, modulator dan demodulator pada sistem SC-FDMA digunakan kedua modulasi gelombang QAM tersebut. Adapun proses modulasi terjadi setelah melewati konverter S/P dan demodulasi terjadi setelah melewati proses *M-Point* IDFT. Jika digambarkan dalam diagram blok dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 3.6 Diagram blok SC-FDMA menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM

(Sumber: Amilia, 2016)

### 3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan menjalankan simulasi pada Matlab dengan masukan awal berupa 3 citra warna berformat JPEG yang berbeda. Kemudian, data diambil berdasarkan 3 teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM, masing-masing pada sistem OFDM dan SC-FDMA melalui kanal *Rayleigh Fading*. Keluaran dari kinerja transmisi citra berupa *Bit Error Rate* (BER), dan *Peak to Average Power Ratio* (PAPR). Kedua parameter tersebut dihasilkan dari masing-masing teknik modulasi pada kedua sistem. Sementara itu, pengambilan

data dilakukan sebanyak tiga dan dilakukan rata-rata, kemudian dilakukan analisis hasil simulasi.

### 3.6 Variabel Pengujian Data

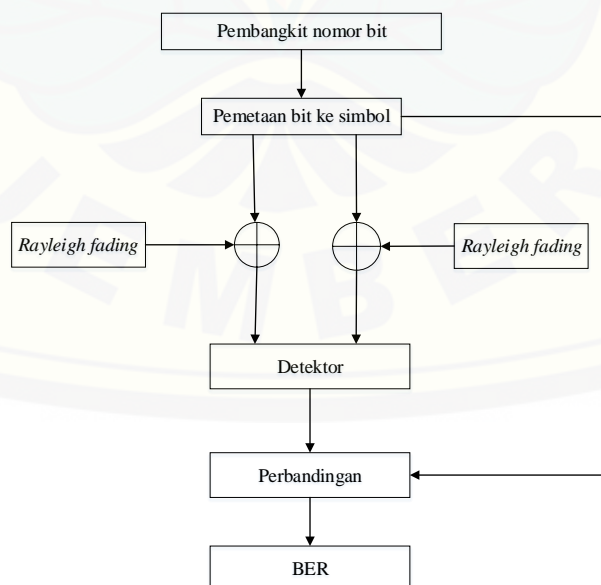
Parameter penelitian sebagai analisa performansi transmisi citra yang didapatkan melalui simulasi terdiri dari 3 parameter yaitu sebagai berikut :

#### 1. *Bit Error Rate* (BER)

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis BER sebagai parameter untuk menunjukkan kinerja transmisi citra pada sistem OFDM dan SC-FDMA *Bit Error Rate* merupakan parameter dalam penentuan kualitas sistem yang merumuskan kesalahan laju bit (*bit error*) yang terjadi selama penransmisian data antara terminal pengirim dan penerima. *Bit Error Rate* merupakan rasio banyaknya bit *error* yang diterima terhadap total bit yang diterima. BER dihitung dengan membandingkan deretan bit yang ditransmisikan terhadap bit yang diterima dan menghitung banyaknya *error*. Adapun persamaan *bit error rate* dapat dihitung dalam rumus sebagai berikut.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{jumlah total bit kirim}} \quad (3.1)$$

Sementara itu, perhitungan BER secara diagram alir dapat diilustrasikan sebagai berikut.



Gambar 3.7 Diagram Perhitungan BER

(Sumber: Isnawati, 2016)

## 2. Signal to Noise Ratio (SNR)

*Signal to Noise Ratio* (SNR, S/N) membandingkan level daya sinyal terhadap level daya *noise* dengan satuan *decibels* (dB). Nilai SNR yang besar mengindikasikan bahwa kualitas sinyal yang ditransmisikan baik yang artinya lebih banyak informasi (sinyal) yang berguna daripada data yang tak diinginkan (*noise*).

## 3. Peak to Average Power Ratio (PAPR)

Sinyal yang ditransmisikan pada OFDM menghasilkan *high peak power* ketika ditambahkan fasa yang sama pada IFFT. Kondisi tersebut dapat membebani sistem karena konsumsi daya yang tinggi sehingga menimbulkan radiasi *out-of-band* (OoB) yang kemudian dapat merusak sinyal (distorsi) dalam pita yang berdekatan. *High peak power* mengurangi efisiensi *high power amplifier* (HPA) dan menurunkan performansi sistem OFDM.

*Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) merupakan suatu performansi yang mengindikasikan efisiensi dari suatu pemancar. PAPR merupakan hubungan antara daya maksimum dari *transmit symbol* OFDM/ SC-FDMA dibagi dengan daya rata-rata dari simbol OFDM/ SC-FDMA, atau secara sederhana merupakan rasio daya puncak terhadap daya rata-rata sinyal. PAPR diukur dalam satuan dB.

Pada penguat daya linier yang ideal, efisiensi daya akan maksimum jika *amplifier* bekerja pada titik saturasi. Secara definisi, PAPR merupakan rasio perbandingan puncak daya sinyal pada waktu  $t$  dengan rata-rata daya keseluruhan, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$PAPR = \frac{\text{daya puncak } x(t)}{\text{daya rata-rata } x(t)}$$

$$PAPR = \frac{|x(t)|^2}{\frac{1}{NT} \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt} \quad (3.2)$$

dengan  $x(t)$  merupakan sinyal domain waktu yang telah ditransmisikan,  $N$  merupakan jumlah simbol,  $T$  merupakan durasi simbol, dan  $NT$  merupakan durasi sinyal. Sementara  $x(t)$  yaitu sebagai berikut.

$$x(t) = e^{j\omega_c t} \sum_{n=0}^{N-1} x_n p(t - nT) a_n \quad (3.3)$$

$x(t)$  = sinyal kompleks *baseband* yang ditransmisikan pada SC-FDMA

$w_c$  = frekuensi *carrier*

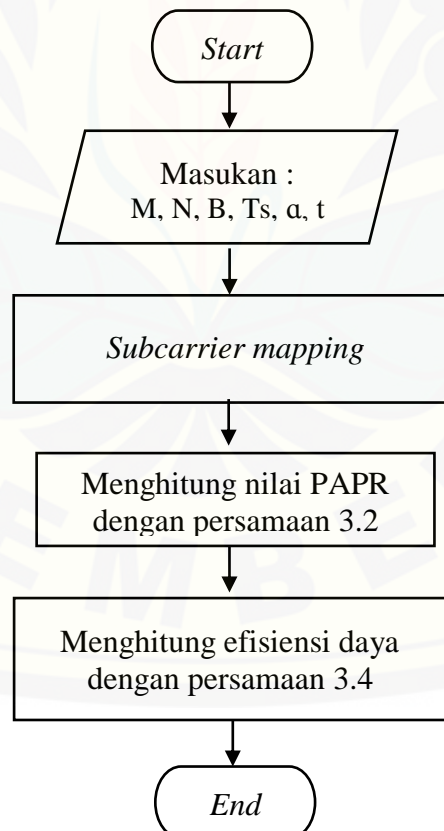
$T = x_n$  = durasi simbol

$p(t)$  = pulsa *baseband*

Nilai PAPR yang positif dalam dB berarti kita membutuhkan *backoff* daya dalam daerah linier dari *power amplifier*. *Backoff* daya berarti reduksi dari daya *output* ketika menurunkan daya *input*. Efisiensi *power amplifier* menurun ketika *back-off* daya karena *amplifier* menuju ke wilayah linier yang dalam. Kelas daya linier (seperti kelas A) kurang efisien daripada kelas daya nonlinier (seperti kelas B) karena sudut konduksi yang lebih tinggi. Hubungan antara PAPR (dB) dan efisiensi daya pengiriman dapat dituliskan melalui persamaan

$$\eta = \eta_{max} \cdot 10^{-\frac{PAPR}{20}} \quad (3.4)$$

di mana  $\eta$  merupakan efisiensi daya dan  $\eta_{max}$  merupakan efisiensi daya maksimum. Untuk *power amplifier* kelas A,  $\eta_{max}$  sebesar 50% dan untuk kelas B sebesar 78,5%. Secara diagram alir, perhitungan PAPR dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.8 Diagram Perhitungan PAPR

(Sumber: Sari, 2013)

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada pengujian yang telah dilakukan dari penelitian dengan judul “Analisis Perbandingan BER dan PAPR dalam Transmisi Citra pada 4G LTE Menggunakan Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar orde modulasi, nilai BER yang didapatkan semakin besar sehingga rentan terhadap *noise*. Pada simulasi ini, SC-FDMA memiliki ketahanan *noise* yang tinggi melalui kanal *Rayleigh Fading* saat menggunakan modulasi QPSK dengan nilai BER terbaik sebesar 0 ketika nilai SNR 13 dB dan OFDM memiliki ketahanan *noise* yang tinggi saat menggunakan modulasi 16-QAM di mana menghasilkan nilai BER terbaik sebesar 0 ketika nilai SNR 10 dB.
2. SC-FDMA memiliki performansi yang lebih baik daripada OFDM karena memiliki nilai BER dan PAPR yang lebih kecil. Pada modulasi QPSK, SC-FDMA menghasilkan nilai BER yang lebih kecil saat SNR 0-16 dB; namun, hasil berkebalikan pada modulasi 16-QAM di mana OFDM lebih baik saat SNR 0-16 dB; dan pada 64-QAM, SC-FDMA lebih baik saat SNR 0-4 dB dan OFDM lebih baik saat SNR 5-16 dB.
3. OFDM menghasilkan nilai PAPR yang tinggi karena distorsi dalam pentransmisian sinyal. Namun, pada hasil simulasi ini, nilai PAPR SC-FDMA lebih besar daripada OFDM, yaitu pada QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM, rata-rata nilai PAPR yang dihasilkan  $\pm 0,9$  dB, yang lebih besar daripada OFDM. Hasil PAPR yang berkebalikan ini dapat dikarenakan adanya *subcarrier mapping* yaitu *localized mode* yang juga ditempatkan pada OFDM di mana *localized mode* membuat *subcarrier* dari *user* tidak mengalami respon kanal *Rayleigh fading*.



## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk mengembangkan dan menyempurnakan penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

1. Pengujian PAPR pada sistem SC-FDMA dapat dilakukan dengan menggunakan teknik reduksi PAPR, seperti *tone reservation (TR)*, *selective mapping (SM)*, *clipping and filtering*, *partial transmit sequence (PTS)*, atau teknik reduksi PAPR lainnya sehingga didapatkan nilai PAPR yang lebih kecil dari tanpa menggunakan teknik reduksi.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya membandingkan sistem dengan OFDM dan SC-FDMA konvensional sehingga pengaruh kompresi JPG dengan metode *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Huffman Encoding* serta pengaruh *subcarrier mapping* dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- Amilia, F. dan Mulyono, M., 2017. Analisis kinerja transmisi citra menggunakan teknik modulasi qam pada sistem orthogonal frequency division multiplexing. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*:368-374.
- Amilia, F., Mulyono dan Jumawan. 2016. Analisis kinerja jenis modulasi pada sistem sc-fdma. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. 14(1):52-56.
- Ayuningtyas, P.N., R. P. Astuti dan B. Prasetya, *Perbandingan Performansi Antara SC-FDMA dan OFDMA*.
- Freeman, Roger L. 1999. *Fundamentals of Telecommunications*. USA: Wiley Series on Wireless Communication and Mobile Computing.
- Holma, Harri dan A. Toskala. 2007. *WCDMA for UMTS-HSPA Evolution and LTE*. UK: British Library.
- Isnawati, A. F., W. Pamungkas dan A. Fitri. 2016. *Simulasi Modulasi Berbasis PSK dan QAM pada Kanal Rayleigh Fading Menggunakan Matlab*. Purwokerto: STT Telematika Telkom.
- Juwono, F. H., R. S. Putra dan D. Gunawan. 2014. A study on peak-to-average power ratio in dwt-ofdm systems. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*.12(5): 3955 – 3961.
- Keysight Technologies, Inc. 2018. *Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN*. [http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm\\_basicprinciplesoverview.htm](http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm). [Diakses pada 13 April 2018].
- Margiutomo, S.A.S. 2012. Algoritma Huffman coding untuk optimalisasi untuk meningkatkan rasio kompresi citra. *Jurnal Teknologi Informasi*. 3(2):93-202.
- Myung, H. G. dan D. J. Goodman. 2008. *Single Carrier FDMA: a new air interface for long term evolution*. USA: Wiley Series on Wireless Communication and Mobile Computing.

- Padmapriya, V.M dan K. Thenmozhi. 2018. Image transmission in 4g lte using dwt based sc-fdma system. *Biomedical & Pharmacology Journal*. 11(3):1633-1642.
- Rumney, Moray. 2013. *LTE and the Evolution to 4G Wireless : Design and Measurement Challenges*. Hoboken, United States: John Wiley and Sons Ltd.
- Rudyanto, Yusuf. 2010. *Lapisan Fisik Pada. Teknologi Long Term Evolution (LTE) di PT. Telkom R&D Center*. Bandung. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Sari, I. V. 2013. Analisis Peak to Average Power Ratio (PAPR) Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) pada Long Term Evolution (LTE). *Skripsi*. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Srikanth, S., V. Kumaran, C. Manikandan, P.A. Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.

**LAMPIRAN****A. Listing Program****1. Program RS\_QPSK (OFDM - QPSK)**

```
clear
close all
clc

% [nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
% I=imread([folder,nama]);
I=imread('cameraman.jpg');

% Bandwidth = Frekuensi Sampling/2;
% NFFT = FFTsize = N point FFT

% Load Matrix Kuantisasi
Qload=load('Q.mat');
Q=Qload.Q;

% Load Matrix Zig-zag
zload=load('z.mat');
z=zload.z;
clear('Qload','zload')

% Konversi Warna Image RGB ke YCbCr
Iycbcr=rgb2ycbcr(I);

% Blok Citra
n=3;
B=2^n;
Im=Iycbcr;
[MI,NI,~]=size(Iycbcr);
mb=mod(MI,B);
nb=mod(NI,B);
if nb>0
    Im(:,NI+1:NI+(B-nb),:)=0;
end
if mb>0
    Im(MI+1:MI+(B-mb),:,:)=0;
end

% parameter QDCT
c0=1/(2^0.5);
n=8;

% QPSK
QPSKmod=comm.QPSKModulator('BitInput',true);
QPSKdem=comm.QPSKDemodulator('BitOutput',true);

% Other Parameter
```

```

%SNR=-2:12;
SNRn=14;

[Mf,Nf,L]=size(Im);
mb=Mf/B;
nb=Nf/B;
wb1=waitbar(0,'Processing...','position',[377.2500 260.2500+200
270.0000 56.2500]);
BER=zeros(1,length(SNRn));
SNRrec=zeros(1,length(SNRn));
for nnn=1:length(SNRn);
    ne=0;
    jmlbit=0;
    tic;
    BER_n=[];
    wb2=waitbar(0,'Work in Layer...','position',[377.2500
260.2500+100 270.0000 56.2500]);
    for l=1:L
        wb3=waitbar(0,'Work in Block...','position',[377.2500
260.2500 270.0000 56.2500]);
        for i=1:mb %banyaknya blok arah x
            for j=1:nb % banyaknya blok arah y
                % Blok
                m1=B*(i-1)+1; m2=B*i;
                n1=B*(j-1)+1; n2=B*j;
                BlokBxB=Im(m1:m2,n1:n2,l);

                % ## DCT ##
                % DCx
                f=double(BlokBxB);

                for u=1:n
                    if u==1
                        cu=c0;
                    else
                        cu=1;
                    end
                    for x=1:n
                        DCx(u,x)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-
1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
                    end
                end
                % DCy
                for y=1:n
                    for v=1:n
                        if v==1
                            cv=c0;
                        else
                            cv=1;
                        end
                        DCy(y,v)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
                    end
                end
                F=(DCx*f(1:n,1:n,1))*DCy;
            end
        end
    end
end

```



```

% ## Kuantisasi ##
Fq=zeros(8);
for ii=1:8
for jj=1:8
Fq(ii,jj)=round(F(ii,jj)/Q(ii,jj));
end
end

% Zig-Zag Coding
zzCoding(z)=Fq(1:8,1:8);

% ## Huffmann Code ##
[dict,hcode,faktor]=HuffmanCode(zzCoding); %faktor
= nilai pengurangan, tambahan untuk penyesuaian pembuatan
dictionary dari input yang bernilai negatif atau sama dengan 0

Lsig=length(hcode);
Nbitsig = 2^nextpow2(Lsig);
if Nbitsig>Lsig
b=zeros(1,Nbitsig);
aa=floor((Nbitsig-Lsig)/2);
b(1,1:Lsig)=hcode';
else
aa=[];
b=hcode;
end

d=zeros(1,length(b)/2);

% ## %Serial to parallel converter
FFTsize=Nbitsig/4;
cp_len = ceil(0.1*FFTsize);
cp_start = FFTsize-cp_len;
cp_end = FFTsize;
n_streams = FFTsize;
n_columns=ceil((Nbitsig/2)/n_streams);
bpar=ser2par(b,n_columns);

% ## QPSK Modulation
inputFFT=zeros(n_streams,n_columns);
for ii=1:n_columns
qpsk=step(QPSKmod,bpar(:,ii));
inputFFT(:,ii)=qpsk;
end

% ## FFT
outputFFT= fft(inputFFT,FFTsize);

% ## Subcarrier Mapping %%localized mode &&
SubMap = [outputFFT(:, [1:n_columns]) ;
zeros(n_streams,n_columns)]; %% map fft output in the first 512
rows and in the other 512 rows sets VC

Qfft=FFTsize;
ifftdatamatrix=zeros(Qfft,n_columns);

```

```

        outputIFFT=[];
    for iii=1:n_columns,
        ifftdatamatrix(:,iii)
    ifft((SubMap(:,iii)),Qfft);
    % Compute and append Cyclic Prefix
        actual_cp=zeros(cp_len,n_columns);
    for jjj=1:cp_len,
        actual_cp(jjj,iii)
    ifftdatamatrix(jjj+cp_start,iii);
    end
        outputIFFT(:,iii)
    vertcat(actual_cp(:,iii),ifftdatamatrix(:,iii));
    end

    % ## Parallel to serial
        LL=length(outputIFFT(:,1));
        R=length(outputIFFT(1,:));
        Par2Ser=zeros(LL*R,1);
    for u=0:(R-1)
        Par2Ser(1+u*LL:(1+u)*LL,1)=outputIFFT(:,u+1);
    end
        TxSgn=Par2Ser;

        ofdmMod
    comm.OFDMModulator('FFTLength',LL*R,'CyclicPrefixLength',cp_len);
        ofdmDemod
    comm.OFDMDemodulator('FFTLength',LL*R,'CyclicPrefixLength',cp_len)
    ;
        ofdmMod.NumGuardBandCarriers = [0; 0];
        ofdmDemod.NumGuardBandCarriers = [0; 0];

        txSig = ofdmMod(TxSgn);

    % Rayleigh channel
        sig = sqrt(1/10^(SNRn(nnn)/10));
        sig = sig / 2;
        noise = sig*(randn(size(txSig))
    1i*randn(size(txSig)));
        snqpsk = txSig + sig.*noise;

        powerDB = 10*log10(var(snqpsk));
    Calculate Tx signal power
        power(j,i,1) = powerDB;

        rxSig = ofdmDemod(snqpsk);

    % ## Serial to parallel converter
        input_rx_FFT=zeros(LL,R);
    for ir=1:R
        input_rx_FFT(:,ir)=rxSig((1+(ir-1)*LL):ir*LL);
    end

```

```

% ## Removing CP
input_rx_FFT(1:cp_len,:)=[];

% ## Q Point FFT
output_rx_fft=fft(input_rx_FFT,Qfft);

% ## Subcarrier DeMapping
SubDeMap_rx = output_rx_fft(1:FFTsize,:);

% ## IFFT P point
output_rx_ifft=ifft(SubDeMap_rx,FFTsize);

% ## QPSK Demodulate
output_rx_ifft_dem=zeros(n_streams*2,n_columns);
for ii=1:n_columns
    qpskdem=step(QPSKdem,output_rx_ifft(:,ii));
    output_rx_ifft_dem(:,ii)=qpskdem;
end

Par2Ser=par2ser(output_rx_ifft_dem);
r=Par2Ser';
bhat1=r;
ne=ne+sum(b~=bhat1);%number of errors
jmlbit=jmlbit+length(b);
RXdata=bhat1(1:Lsig);

% ## Huffman Decode ##
dhsig=huffmandeco(RXdata,dict);
Drec=(dhsig(:)-faktor)';

% Zig-Zag Decode ##
dR = zeros(8*8);
dR(1:length(Drec)) = Drec;
Fr=reshape(dR(z),8,8);

% ## Dekuantisasi ##
for ii=1:8
for jj=1:8
    Fdq(ii,jj)=Fr(ii,jj)*Q(ii,jj);
end
end

% ## iDCT ##
for x=1:n
for u=1:n
if u==1
    cu=c0;
else
    cu=1;
end
iDCx(x,u)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
end

```

```

end
for v=1:n
if v==1
                                cv=c0;
else
                                cv=1;
end
for y=1:n
                                iDCy(v,y)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
end
end
                                iDCT=round(iDCx*(Fdq*iDCy));
                                Imreceived_ybcr(m1:m2,n1:n2,1)=uint8(iDCT);
end
                                waitbar(i/mb)
end
                                close(wb3);
                                waitbar(1/L)
end
                                close(wb2);
                                BER(1,nnn)=ne/jmlbit;
                                disp(['waktu=',num2str(toc),' detik'])
                                Imreceived_ybcr=Imreceived_ybcr(1:MI,1:NI,:);
                                Imreceived=ybcr2rgb(Imreceived_ybcr);

                                SNR=snr([double(I(:,:,1)),double(I(:,:,2)),double(I(:,:,3))],...
                                [double(Imreceived(:,:,1)),...
                                double(Imreceived(:,:,2)),double(Imreceived(:,:,3))]);
                                SNRrec(1,nnn)=SNR;

                                figure('name',['SNR=',num2str(SNRn(nnn))]);
                                subplot(1,2,1);
                                imshow(I); title('citra yang dikirim')
                                subplot(1,2,2);
                                imshow(Imreceived); title('citra yang diterima')

                                waitbar(nnn/length(SNRn))
                                PAPR(nnn) = max(max(max(power)))/mean(mean(mean(power)));
end
close(wb1)
figure('name','SNR vs BER');
plot(SNRn,BER,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('BER')
grid on

figure('name','SNR vs PAPR');
plot(SNRn,PAPR,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('PAPR')
grid on

```

## 2. Program *RS\_QAM16* (SC-FDMA - 16-QAM)

```

clear
close all
clc

% [nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
% I=imread([folder,nama]);
I=imread('pool.jpg');

% Bandwidth = Frekuensi Sampling/2;
% NFFT = FFTsize = N point FFT

% Load Matrix Kuantisasi
Qload=load('Q.mat');
Q=Qload.Q;

% Load Matrix Zig-zag
zload=load('z.mat');
z=zload.z;
clear('Qload', 'zload')

% Konversi Warna Image RGB ke YCbCr
Iycbcr=rgb2ycbcr(I);

% Blok Citra
n=3;
B=2^n;
Im=Iycbcr;
[MI, NI, ~]=size(Iycbcr);
mb=mod(MI, B);
nb=mod(NI, B);
if nb>0
    Im(:, NI+1:NI+(B-nb), :)=0;
end
if mb>0
    Im(MI+1:MI+(B-mb), :, :)=0;
end

% parameter QDCT
c0=1/(2^0.5);
n=8;

% QAM16
QAM16mod=comm.RectangularQAMModulator(16, 'BitInput', true);
QAM16mod.PhaseOffset = pi/4;
QAM16dem=comm.RectangularQAMDemodulator(16, 'BitOutput', true);
QAM16dem.PhaseOffset = pi/4;

% Other Parameter

%SNR=-2:12;
SNRn=0:14;

```



```

[Mf,Nf,L]=size(Im);
mb=Mf/B;
nb=Nf/B;
wb1=waitbar(0,'Processing...','position',[377.2500 260.2500+200
270.0000 56.2500]);
BER=zeros(1,length(SNRn));
SNRrec=zeros(1,length(SNRn));
for nnn=1:length(SNRn);
    ne=0;
    jmlbit=0;
    tic;
    BER_n=[];
    wb2=waitbar(0,'Work in Layer...','position',[377.2500
260.2500+100 270.0000 56.2500]);
    for l=1:L
        wb3=waitbar(0,'Work in Block...','position',[377.2500
260.2500 270.0000 56.2500]);
        for i=1:mb %banyaknya blok arah x
            for j=1:nb % banyaknya blok arah y
                % Blok
                    m1=B*(i-1)+1; m2=B*i;
                    n1=B*(j-1)+1; n2=B*j;
                    BlokxB=Im(m1:m2,n1:n2,l);

                % ## DCT ##
                % DCx
                    f=double(BlokxB);

                for u=1:n
                    if u==1
                        cu=c0;
                    else
                        cu=1;
                    end
                    for x=1:n
                        DCx(u,x)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-
1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
                    end
                end
                % DCy
                for y=1:n
                    for v=1:n
                        if v==1
                            cv=c0;
                        else
                            cv=1;
                        end
                        DCy(y,v)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
                    end
                end
                F=(DCx*f(1:n,1:n,1))*DCy;

                % ## Kuantisasi ##
                Fq=zeros(8);

            for ii=1:8

```

```

for jj=1:8
    Fq(ii,jj)=round(F(ii,jj)/Q(ii,jj));
end
end

% Zig-Zag Coding
zzCoding(z)=Fq(1:8,1:8);

% ## Huffmann Code ##
[dict,hcode,faktor]=HuffmanCode(zzCoding); %faktor
= nilai pengurangan, tambahan untuk penyesuaian pembuatan
dictionary dari input yang bernilai negatif atau sama dengan 0

Lsig=length(hcode);
Nbitsig = 2^nextpow2(Lsig);
if Nbitsig>Lsig
    b=zeros(1,Nbitsig);
    aa=floor((Nbitsig-Lsig)/2);
    b(1,1:Lsig)=hcode';
else
    aa=[];
    b=hcode;
end

d=zeros(1,length(b)/2);
txSig = hcode;

% ## %Serial to parallel converter
FFTsize=Nbitsig/4;
cp_len = ceil(0.1*FFTsize);
cp_start = FFTsize-cp_len;
cp_end = FFTsize;
n_streams = FFTsize;
n_columns=ceil((Nbitsig/2)/n_streams);
bpar=ser2par(b,n_columns);

rmc = lteRMCUL('A3-2');
rmc.PUSCH.Modulation = '16QAM';
[puschInd, info] = ltePUSCHIndices(rmc,rmc.PUSCH);
ueDim = lteULResourceGridSize(rmc);

bits = randi([0,1],info.G,rmc.PUSCH.NLayers);
bits = [txSig zeros(rmc.PUSCH.NLayers, info.G -
length(txSig))];

symbols =
lteSymbolModulate(bits,rmc.PUSCH.Modulation);
precodedSymbols = lteULPrecode(symbols,rmc.NULRB);
rgrid = lteULResourceGrid(rmc);
rgrid(puschInd) = precodedSymbols;

[timeDomainSig,infoScfdma] =
lteSCFDMAmodulate(rmc,rgrid);
% Rayleigh channel
sig = sqrt(1/10^(SNRn(nnn)/10));

```

```

        sig = sig / 2;
        noise = sig*(randn(size(timeDomainSig)) +
1i*randn(size(timeDomainSig)));
        snqpsk = timeDomainSig + sig.*noise;

        powerDB = 10*log10(var(snqpsk)); %
Calculate Tx signal power
        power(j,i,l) = powerDB;

        rxGrid = lteSCFDMADemodulate(rmc,snqpsk);

% Extract PUSCH from grid and perform UL deprecoding.
        rxPrecoded = rxGrid(puschInd);
        dePrecodedSymbols =
lteULDeprecode(rxPrecoded,rmc.NULRB);

        rxSig =
lteSymbolDemodulate(dePrecodedSymbols,rmc.PUSCH.Modulation);

        rxSig = rxSig(1:length(hcode))';
        rxSig = double(rxSig>0);

        Par2Ser=par2ser(bpar);
        r=Par2Ser';
        bhat1=r;
        ne=ne+sum(txSig~=rxSig);%number of errors
        jmlbit=jmlbit+length(b);
        RXdata=bhat1(1:Lsig);

% ## Huffman Decode ##
        dhsig=huffmandeco(rxSig,dict);
        Drec=(dhsig(:)-faktor)';

% Zig-Zag Decode ##
        dR = zeros(8*8);
        dR(1:length(Drec)) = Drec;
        Fr=reshape(dR(z),8,8);

% ## Dekuantisasi ##
for ii=1:8
for jj=1:8
                                Fdq(ii,jj)=Fr(ii,jj)*Q(ii,jj);
end
end

% ## iDCT ##
for x=1:n
for u=1:n
if u==1
                                cu=c0;
else
                                cu=1;
end
end

```

```

                                iDCx(x,u)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-
1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
end
end
for v=1:n
if v==1
                                cv=c0;
else
                                cv=1;
end
for y=1:n
                                iDCy(v,y)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
end
end
                                iDCT=round(iDCx*(Fdq*iDCy));
                                Imreceived_ycbcr(m1:m2,n1:n2,1)=uint8(iDCT);
end
                                waitbar(i/mb)
end
                                close(wb3);
                                waitbar(l/L)
end
                                close(wb2);
                                BER(1,nnn)=ne/jmlbit;
                                disp(['waktu=',num2str(toc),' detik'])
                                disp(['SNR=',num2str(SNRn(nnn)),' , BER=',num2str(BER(1,nnn))])
                                Imreceived_ycbcr=Imreceived_ycbcr(1:MI,1:NI,:);
                                Imreceived=ycbcr2rgb(Imreceived_ycbcr);
                                SNR=snr([double(I(:,:,1)),double(I(:,:,2)),double(I(:,:,3))],...
                                [double(Imreceived(:,:,1)),...
                                double(Imreceived(:,:,2)),double(Imreceived(:,:,3))]);
                                SNRrec(1,nnn)=SNR;

                                figure('name',['SNR=',num2str(SNRn(nnn))]);
                                subplot(1,2,1);
                                imshow(I); title('citra yang dikirim')
                                subplot(1,2,2);
                                imshow(Imreceived); title('citra yang diterima')

                                waitbar(nnn/length(SNRn))
                                PAPR(nnn) = max(max(max(power)))/mean(mean(mean(power)));
end
close(wb1)
figure('name','SNR vs BER');
plot(SNRn,BER,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('BER')
grid on

figure('name','SNR vs PAPR');
plot(SNRn,PAPR,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('PAPR')
grid

```

**3. Listing Program RS\_QAM16 (OFDM - 64-QAM)**

```

clear
close all
clc

% [nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
% I=imread([folder, nama]);
I=imread('lena.jpg');

% Bandwidth = Frekuensi Sampling/2;
% NFFT = FFTsize = N point FFT

% Load Matrix Kuantisasi
Qload=load('Q.mat');
Q=Qload.Q;

% Load Matrix Zig-zag
zload=load('z.mat');
z=zload.z;
clear('Qload', 'zload')

% Konversi Warna Image RGB ke YCbCr
Iycbcr=rgb2ycbcr(I);

% Blok Citra
n=3;
B=2^n;
Im=Iycbcr;
[MI, NI, ~]=size(Iycbcr);
mb=mod(MI, B);
nb=mod(NI, B);
if nb>0
    Im(:, NI+1:NI+(B-nb), :)=0;
end
if mb>0
    Im(MI+1:MI+(B-mb), :, :)=0;
end

% parameter QDCT
c0=1/(2^0.5);
n=8;

% QAM64
QAM64mod=comm.RectangularQAMModulator(64, 'BitInput', false);
QAM64mod.PhaseOffset = pi/4;
QAM64dem=comm.RectangularQAMDemodulator(64, 'BitOutput', false);
QAM64dem.PhaseOffset = pi/4;

% Other Parameter

%SNR=-2:12;
SNRn=0:14;

```



```

[Mf,Nf,L]=size(Im);
mb=Mf/B;
nb=Nf/B;
wb1=waitbar(0,'Processing...','position',[377.2500 260.2500+200
270.0000 56.2500]);
BER=zeros(1,length(SNRn));
SNRrec=zeros(1,length(SNRn));
for nnn=1:length(SNRn);
    ne=0;
    jmlbit=0;
    tic;
    BER_n=[];
    wb2=waitbar(0,'Work in Layer...','position',[377.2500
260.2500+100 270.0000 56.2500]);
    for l=1:L
        wb3=waitbar(0,'Work in Block...','position',[377.2500
260.2500 270.0000 56.2500]);
        for i=1:mb %banyaknya blok arah x
            for j=1:nb % banyaknya blok arah y
                % Blok
                m1=B*(i-1)+1; m2=B*i;
                n1=B*(j-1)+1; n2=B*j;
                BlokBxB=Im(m1:m2,n1:n2,l);

                % ## DCT ##
                % DCx
                f=double(BlokBxB);

                for u=1:n
                    if u==1
                        cu=c0;
                    else
                        cu=1;
                    end
                    for x=1:n
                        DCx(u,x)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-
1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
                    end
                end
                % DCy
                for y=1:n
                    for v=1:n
                        if v==1
                            cv=c0;
                        else
                            cv=1;
                        end
                        DCy(y,v)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
                    end
                end
                F=(DCx*f(1:n,1:n,1))*DCy;

                % ## Kuantisasi ##
                Fq=zeros(8);
            end
        end
    end
end

```

```

for ii=1:8
for jj=1:8
                                Fq(ii,jj)=round(F(ii,jj)/Q(ii,jj));
end
end

% Zig-Zag Coding
zzCoding(z)=Fq(1:8,1:8);

% ## Huffmann Code ##
[dict,hcode,faktor]=HuffmanCode(zzCoding); %faktor
= nilai pengurangan, tambahan untuk penyesuaian pembuatan
dictionary dari input yang bernilai negatif atau sama dengan 0

Lsig=length(hcode);
Nbitsig = 2^nextpow2(Lsig);
if Nbitsig>Lsig
    b=zeros(1,Nbitsig);
    aa=floor((Nbitsig-Lsig)/2);
    b(1,1:Lsig)=hcode';
else
    aa=[];
    b=hcode;
end
d=zeros(1,length(b)/2);

% ## %Serial to parallel converter
FFTsize=Nbitsig/4;
cp_len = ceil(0.1*FFTsize);
cp_start = FFTsize-cp_len;
cp_end = FFTsize;
n_streams = FFTsize;
n_columns=ceil((Nbitsig)/n_streams);
bpar=ser2par(b,n_columns);

% ## QAM64 Modulation
inputFFT=zeros(n_streams,n_columns);
for ii=1:n_columns
    qam64=step(QAM64mod,bpar(:,ii));
    inputFFT(:,ii)=qam64;
end
% ## FFT
outputFFT= fft(inputFFT,FFTsize);

% ## Subcarrier Mapping %%localized mode &&
SubMap = [outputFFT(:, [1:n_columns]) ;
zeros(n_streams,n_columns)]; %% map fft output in the first 512
rows and in the other 512 rows sets VC

Qfft=FFTsize;
ifftdatamatrix=zeros(Qfft,n_columns);
outputIFFT=[];
for iii=1:n_columns,

```

```

                                ifftdatamatrix(:,iii)           =
ifft((SubMap(:,iii)),Qfft);
%   Compute and append Cyclic Prefix
                                actual_cp=zeros(cp_len,n_columns);
for jjj=1:cp_len,
                                actual_cp(jjj,iii)           =
ifftdatamatrix(jjj+cp_start,iii);
end
                                outputIFFT(:,iii)           =
vertcat(actual_cp(:,iii),ifftdatamatrix(:,iii));
end

% ## Parallel to serial
                                LL=length(outputIFFT(:,1));
                                R=length(outputIFFT(1,:));
                                Par2Ser=zeros(LL*R,1);
for u=0:(R-1)
                                Par2Ser(1+u*LL:(1+u)*LL,1)=outputIFFT(:,u+1);
end
                                TxSgn=Par2Ser;

                                ofdmMod                      =
comm.OFDMModulator('FFTLength',LL*R,'CyclicPrefixLength',cp_len);
                                ofdmDemod                    =
comm.OFDMDemodulator('FFTLength',LL*R,'CyclicPrefixLength',cp_len)
;
                                ofdmMod.NumGuardBandCarriers = [0; 0];
                                ofdmDemod.NumGuardBandCarriers = [0; 0];

                                txSig = ofdmMod(TxSgn);

% Rayleigh channel
                                sig = sqrt(1/10^(SNRn(nnn)/10));
                                sig = sig / 2;
                                noise = sig*(randn(size(txSig))
+
                                li*randn(size(txSig)));
                                snqpsk = txSig + sig.*noise;

                                powerDB = 10*log10(var(snqpsk));
Calculate Tx signal power
                                power(j,i,1) = powerDB;

                                rxSig = ofdmDemod(snqpsk);

% ## Serial to parallel converter
                                input_rx_FFT=zeros(LL,R);
for ir=1:R
                                input_rx_FFT(1:LL,ir)=rxSig((1+(ir-
1)*LL):ir*LL);
end

% ## Removing CP
                                input_rx_FFT(1:cp_len,:)=[];

% ## Q Point FFT

```

```

        output_rx_fft=fft(input_rx_FFT,Qfft);

% ## Subcarrier DeMapping
        SubDeMap_rx = output_rx_fft(1:FFTsize,:);

% ## IFFT P point
        output_rx_ifft=ifft(SubDeMap_rx,FFTsize);

% ## QAM64 Demodulate
        output_rx_ifft_dem=zeros(n_streams,n_columns);
for ii=1:n_columns
        qam64dem=step(QAM64dem,output_rx_ifft(:,ii));
        output_rx_ifft_dem(:,ii)=qam64dem;
end

        Par2Ser=par2ser(output_rx_ifft_dem);
        r=Par2Ser';
        bhat1=r;
        ne=ne+sum(b~=bhat1);%number of errors
        jmlbit=jmlbit+length(b);
        RXdata=bhat1(1:Lsig);

% ## Huffman Decode ##
        dhsig = zeros(8*8);
try
        dhsig=huffmandeco(RXdata,dict);
catch ME
end

        Drec=(dhsig(:)-faktor)';

% Zig-Zag Decode ##
        dR = zeros(8*8);
        dR(1:length(Drec)) = Drec;
        Fr=reshape(dR(z),8,8);

% ## Dekuantisasi ##
for ii=1:8
for jj=1:8
        Fdq(ii,jj)=Fr(ii,jj)*Q(ii,jj);
end
end

% ## iDCT ##
for x=1:n
for u=1:n
if u==1
        cu=c0;
else
        cu=1;
end
        iDCx(x,u)=((2/n)^0.5)*cu*cos(((2*(x-
1)+1)*pi*(u-1))/(2*n));
end
end
for v=1:n

```

```

if v==1
                                cv=c0;
else
                                cv=1;
end
for y=1:n
                                iDCy(v,y)=((2/n)^0.5)*cv*cos(((2*(y-
1)+1)*pi*(v-1))/(2*n));
end
end
                                iDCT=round(iDCx*(Fdq*iDCy));
                                Imreceived_ycbcr(m1:m2,n1:n2,1)=uint8(iDCT);
end
                                waitbar(i/mb)
end
                                close(wb3);
                                waitbar(1/L)
end
                                close(wb2);
                                disp(['waktu=',num2str(toc),' detik'])
                                BER(1,nnn)=ne/jmlbit;
                                disp(['SNR=',num2str(SNRn(nnn)),' BER=',num2str(BER(1,nnn))])
                                Imreceived_ycbcr=Imreceived_ycbcr(1:MI,1:NI,:);
                                Imreceived=ycbcr2rgb(Imreceived_ycbcr);

                                SNR=snr([double(I(:,:,1)),double(I(:,:,2)),double(I(:,:,3))],...
                                [double(Imreceived(:,:,1)),...
                                double(Imreceived(:,:,2)),double(Imreceived(:,:,3))]);
                                SNRrec(1,nnn)=SNR;

                                figure('name',['SNR=',num2str(SNRn(nnn))]);
                                subplot(1,2,1);
                                imshow(I); title('citra yang dikirim')
                                subplot(1,2,2);
                                imshow(Imreceived); title('citra yang diterima')
                                waitbar(nnn/length(SNRn))
                                PAPR(nnn) = max(max(max(power)))/mean(mean(mean(power)));
end
                                close(wb1)
                                figure('name','SNR vs BER');
                                plot(SNRn,BER,'-o');
                                xlabel('SNR');
                                ylabel('BER')
                                grid on

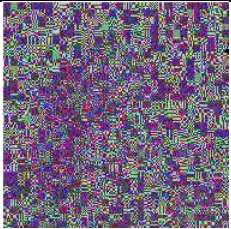
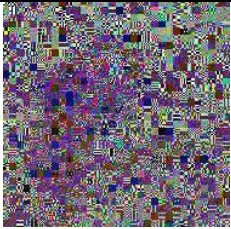

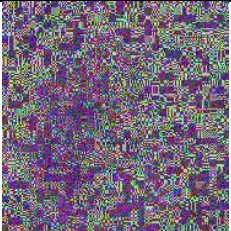
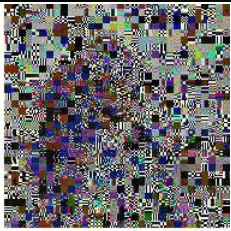
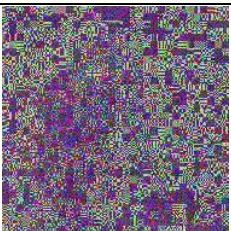


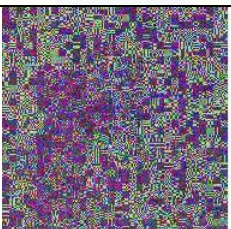

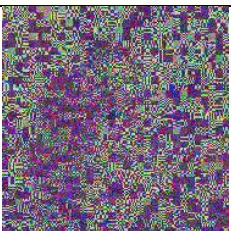
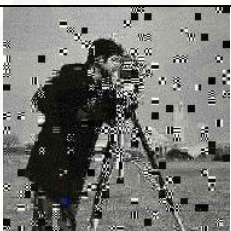

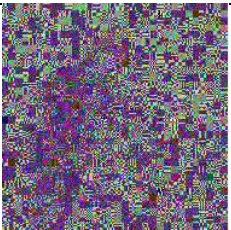

                                figure('name','SNR vs PAPR');
                                plot(SNRn,PAPR,'-o');
                                xlabel('SNR');
                                ylabel('PAPR')
                                grid on

```



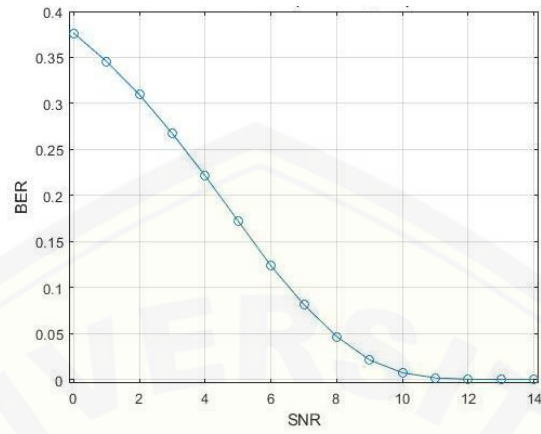
**B. Hasil Pengujian OFDM**

**1. OFDM Menggunakan QPSK (*cameraman.jpg*)**

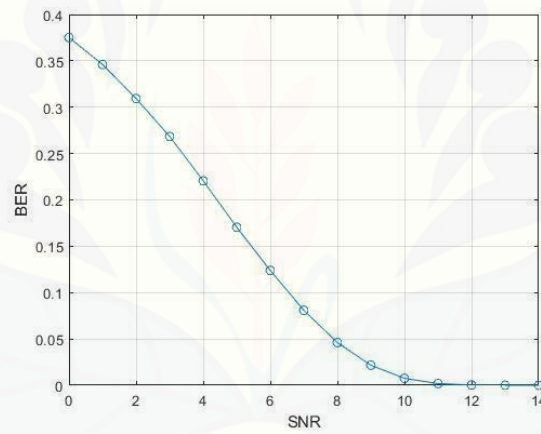
SNR	Data	SNR	Data	SNR	Data
0		6		12	
1		7			
2		8		13	
3		9			
4		10		14	
5		11			

## 2. Grafik BER/SNR (*cameraman.jpg*)

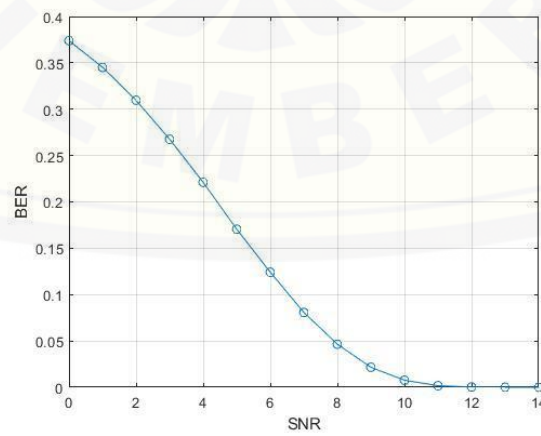
### a) Data ke-1



### b) Data ke-2

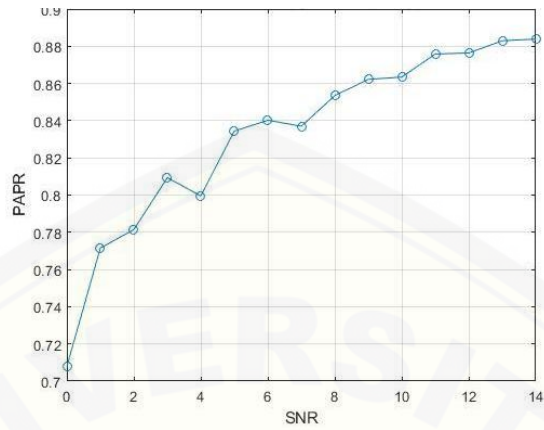


### c) Data ke-3

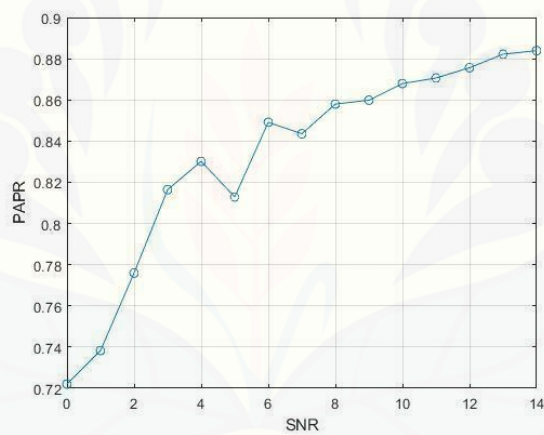


### 3. Grafik PAPR/SNR (*cameraman.jpg*)

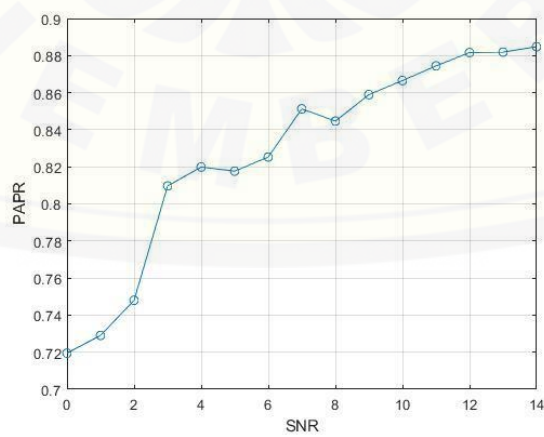
#### a) Data ke-1



#### b) Data ke-2












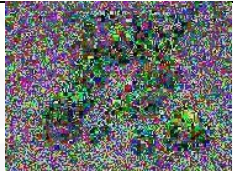





#### c) Data ke-3



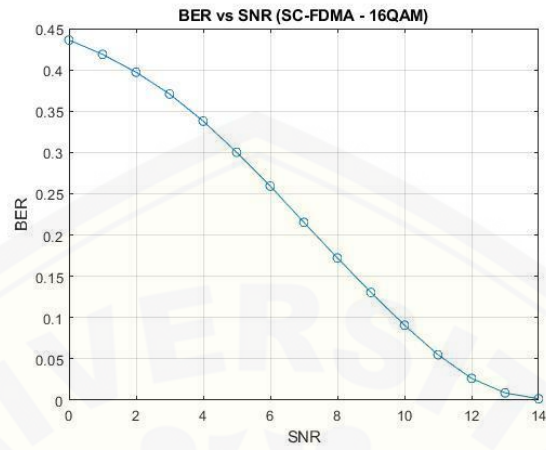


**C. Hasil Pengujian SC-FDMA****1. SC-FDMA Menggunakan 16-QAM (*pool.jpg*)**

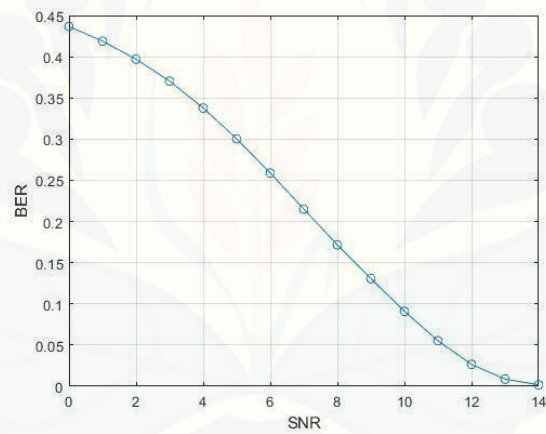
SNR	Data	SNR	Data	SNR	Data
0		6		12	
1		7			
2		8		13	
3		9			
4		10		14	
5		11			

## 2. Grafik BER/SNR (*pool.jpg*)

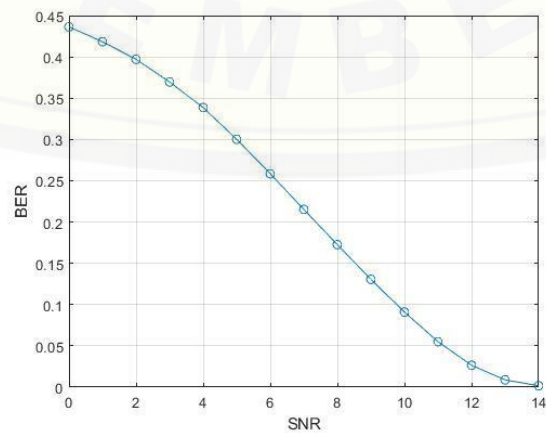
### a) Data ke-1



### b) Data ke-2



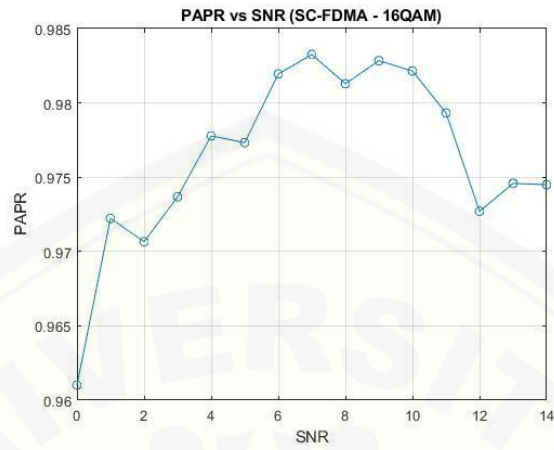
### c) Data ke-3



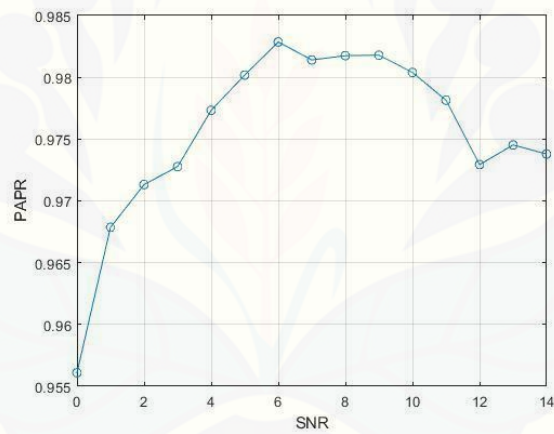


**3. Grafik PAPR/SNR (*pool.jpg*)**

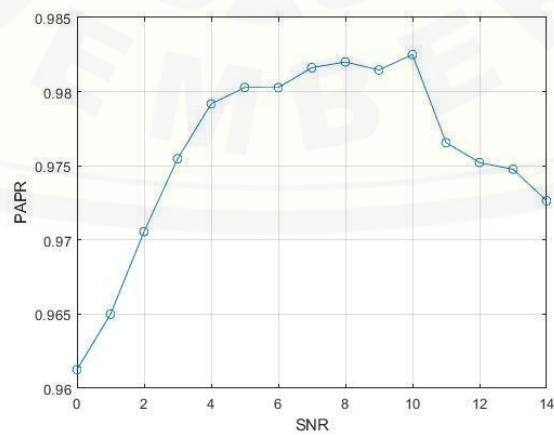
**a) Data ke-1**



**b) Data ke-2**



**c) Data ke-3**



**D. Data Perbandingan Modulasi****1. Tabel Perbandingan Kinerja OFDM (*lena.jpg*)****a) Data ke-1**

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>			<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
0	0,37629	0,17077	0,64975	0,74040	-0,44460	-1,57150
1	0,34682	0,13248	0,60936	0,75984	-0,27307	-1,12580
2	0,30971	0,09630	0,55853	0,77497	-0,20490	-0,87887
3	0,26636	0,06408	0,49303	0,80586	-0,12641	-0,79675
4	0,21631	0,03675	0,41398	0,80353	-0,07356	-0,72395
5	0,16306	0,01693	0,32119	0,81321	-0,02261	-0,66822
6	0,10928	0,00578	0,22235	0,80671	0,01242	-0,65541
7	0,06228	0,00134	0,13095	0,79908	0,01468	-0,60673
8	0,02834	0,00020	0,06082	0,81171	0,04667	-0,59225
9	0,00962	0,00001	0,02127	0,81895	0,05839	-0,58972
10	0,00228	0,00006	0,00507	0,81905	0,06427	-0,56813
11	0,00033	0	0,00070	0,81676	0,07713	-0,56103
12	0,00002	0	0,00004	0,82450	0,08283	-0,55936
13	0	0	0	0,82798	0,08368	-0,55503
14	0	0	0	0,82763	0,08995	-0,55081
15	0	0	0	0,83090	0,09120	-0,55230
16	0	0	0	0,82790	0,09480	-0,54700

**b) Data ke-2**

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>			<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
0	0,37673	0,17077	0,64998	0,73555	-0,60431	-1,47933
1	0,34724	0,13248	0,60973	0,76115	-0,32652	-1,16500
2	0,30952	0,09630	0,55809	0,79672	-0,18252	-0,93922
3	0,26661	0,06408	0,49349	0,82164	-0,10321	-0,80018
4	0,21628	0,03675	0,41353	0,80011	-0,06793	-0,72959
5	0,16311	0,01693	0,32089	0,81538	-0,00677	-0,66827
6	0,10870	0,00578	0,22233	0,81510	0,01989	-0,63739
7	0,06210	0,00134	0,12998	0,81163	0,02312	-0,62131
8	0,02838	0,00020	0,06111	0,81208	0,03880	-0,60133
9	0,00960	0,00001	0,02129	0,80634	0,05873	-0,57689
10	0,00225	0	0,00506	0,81486	0,06733	-0,57109
11	0,00033	0	0,00070	0,81276	0,07167	-0,56319
12	0,00002	0	0,00005	0,82552	0,08620	-0,56086
13	0	0	0	0,82438	0,08327	-0,55402
14	0	0	0	0,82956	0,09039	-0,54988
15	0	0	0	0,83030	0,09230	-0,55130
16	0	0	0	0,83160	0,09320	-0,54810

## c) Data ke-3

SNR	Bit Error Rate (BER)			Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
0	0,37674	0,17072	0,65020	0,73649	-0,44429	-1,56209
1	0,34675	0,13192	0,60955	0,75323	-0,26432	-1,17578
2	0,30967	0,09658	0,55854	0,75550	-0,25790	-0,94873
3	0,26684	0,06427	0,49342	0,79474	-0,14818	-0,78655
4	0,21642	0,03661	0,41339	0,79303	-0,05330	-0,74184
5	0,16231	0,01698	0,32116	0,81172	-0,00200	-0,65875
6	0,10927	0,00580	0,22257	0,80156	0,00267	-0,65404
7	0,06219	0,00140	0,13074	0,79743	0,03888	-0,60072
8	0,02829	0,00018	0,06092	0,81752	0,03109	-0,60895
9	0,00963	0,00001	0,02109	0,81475	0,04818	-0,58360
10	0,00222	0	0,00500	0,81710	0,07799	-0,57269
11	0,00031	0	0,00070	0,81914	0,07868	-0,57302
12	0,00001	0	0,00004	0,81822	0,07995	-0,56001
13	0	0	0	0,82504	0,08272	-0,55459
14	0	0	0	0,82787	0,08682	-0,55634
15	0	0	0	0,82990	0,09400	-0,54970
16	0	0	0	0,83240	0,09590	-0,54760

2. Tabel Perbandingan Kinerja SC-FDMA (*lena.jpg*)

## a) Data ke-1

SNR	Bit Error Rate (BER)			Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)		
	QPSK	16-QAM	64-QAM	QPSK	16-QAM	64-QAM
0	0,26008	0,35573	0,37986	0,95770	0,95409	0,95629
1	0,24412	0,34225	0,36634	0,96780	0,96623	0,96141
2	0,22405	0,32557	0,34973	0,97163	0,9696	0,96375
3	0,20004	0,30547	0,33062	0,97297	0,97712	0,97637
4	0,17142	0,28027	0,30775	0,97898	0,98006	0,97701
5	0,13929	0,24995	0,28289	0,98112	0,98073	0,98072
6	0,10351	0,21577	0,25655	0,98153	0,98233	0,98090
7	0,06802	0,17901	0,22870	0,98451	0,97985	0,98260
8	0,03693	0,14271	0,20006	0,98572	0,98354	0,98270
9	0,01527	0,10791	0,16890	0,98632	0,98339	0,98501
10	0,00399	0,07515	0,13696	0,99023	0,98056	0,98732
11	0,00051	0,04553	0,10645	0,99039	0,98082	0,98654
12	0,00002	0,02179	0,07934	0,99271	0,97843	0,98898
13	0	0,00728	0,05571	0,99394	0,97702	0,99039
14	0	0,00142	0,03421	0,99498	0,97721	0,99094
15	0	0,00011	0,01691	0,99540	0,97610	0,99080
16	0	0,000004	0,00608	0,99690	0,97610	0,98880

## b) Data ke-2

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>			<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>		
	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM</b>	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM</b>
0	0,26045	0,35618	0,37942	0,96029	0,96197	0,95696
1	0,24385	0,34298	0,36622	0,96792	0,96561	0,96160
2	0,22432	0,32644	0,35006	0,97197	0,97176	0,97059
3	0,20000	0,30591	0,33083	0,97311	0,97611	0,97198
4	0,17190	0,28005	0,30807	0,97479	0,97767	0,97804
5	0,13911	0,24982	0,28309	0,97745	0,97892	0,97872
6	0,10349	0,21587	0,25639	0,98185	0,98109	0,98192
7	0,06841	0,17900	0,22884	0,98058	0,98050	0,98337
8	0,03727	0,14272	0,19990	0,98665	0,98284	0,98581
9	0,01521	0,10801	0,16884	0,98798	0,98401	0,98560
10	0,00397	0,07539	0,13678	0,98950	0,98121	0,98705
11	0,00054	0,04546	0,10673	0,98969	0,98088	0,98806
12	0,00003	0,02184	0,07989	0,99213	0,97748	0,98735
13	0	0,00735	0,05562	0,99383	0,97652	0,98798
14	0	0,00145	0,03458	0,99437	0,97680	0,99023
15	0	0,00011	0,01699	0,99590	0,97580	0,99040
16	0	0,000003	0,00601	0,99690	0,97600	0,99120

## c) Data ke-3

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>			<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>		
	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM</b>	<b>QPSK</b>	<b>16-QAM</b>	<b>64-QAM</b>
0	0,26018	0,35611	0,37983	0,96114	0,96292	0,95980
1	0,24410	0,34277	0,36679	0,95949	0,96552	0,96447
2	0,22464	0,32638	0,34984	0,96623	0,96668	0,96913
3	0,20038	0,30534	0,33115	0,97503	0,97550	0,97399
4	0,17212	0,27990	0,30834	0,97771	0,97716	0,97725
5	0,13959	0,25026	0,28334	0,97951	0,97859	0,98067
6	0,10408	0,21555	0,25697	0,98134	0,98121	0,98233
7	0,06831	0,17864	0,22811	0,98317	0,98150	0,98178
8	0,03723	0,14261	0,19941	0,98390	0,98226	0,98304
9	0,01519	0,10784	0,16917	0,98791	0,98301	0,98475
10	0,00401	0,07522	0,13700	0,98716	0,98374	0,98710
11	0,00056	0,04562	0,10623	0,99109	0,97911	0,98582
12	0,00002	0,02156	0,08008	0,99235	0,97819	0,98877
13	0	0,00735	0,05587	0,99333	0,97762	0,98843
14	0	0,00137	0,03438	0,99541	0,97624	0,98943
15	0	0,00012	0,01712	0,99530	0,97570	0,99160
16	0	0,000003	0,00589	0,99680	0,97520	0,99060

## E. Data Perbandingan Sistem

### 1. Tabel Perbandingan Sistem dengan QPSK (*cameraman.jpg*)

#### a) Data ke-1

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,37518	0,32130	0,72903	0,96263
1	0,34599	0,30090	0,73813	0,96875
2	0,30935	0,27820	0,78852	0,96702
3	0,26841	0,24633	0,82464	0,97453
4	0,22051	0,21289	0,80717	0,97833
5	0,17045	0,17045	0,83148	0,98006
6	0,12384	0,12764	0,84024	0,98225
7	0,08092	0,08384	0,84923	0,98396
8	0,04602	0,04620	0,86275	0,98511
9	0,02161	0,01887	0,86550	0,98607
10	0,00748	0,00499	0,86741	0,98942
11	0,00181	0,00061	0,87282	0,99258
12	0,00027	0,00001	0,87207	0,99406
13	0,00001	0	0,88311	0,99465
14	0	0	0,88730	0,99557
15	0	0	0,90880	0,99650
16	0	0	0,91060	0,99680

#### b) Data ke-2

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,37513	0,32200	0,72204	0,96220
1	0,34604	0,30141	0,73835	0,96227
2	0,30937	0,27608	0,77594	0,97171
3	0,26844	0,24724	0,81644	0,97586
4	0,22058	0,21192	0,83017	0,98009
5	0,17046	0,17081	0,81287	0,98091
6	0,12385	0,12738	0,84912	0,98218
7	0,08091	0,08382	0,84355	0,98612
8	0,04605	0,04599	0,85798	0,98655
9	0,02162	0,01900	0,85986	0,98771
10	0,00747	0,00490	0,86795	0,98952
11	0,00181	0,00064	0,87062	0,99167
12	0,00028	0,00002	0,87563	0,99347
13	0,00001	0	0,88217	0,99515
14	0	0	0,88392	0,99550
15	0	0	0,90850	0,99650
16	0	0	0,91020	0,99710



## c) Data ke-3

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,37393	0,32035	0,71949	0,96241
1	0,34512	0,30082	0,72904	0,96461
2	0,30961	0,27720	0,74801	0,97189
3	0,26756	0,24638	0,80969	0,97829
4	0,22107	0,21237	0,81986	0,97856
5	0,17054	0,17135	0,81766	0,98292
6	0,12409	0,12782	0,82529	0,98402
7	0,08078	0,08433	0,85127	0,98676
8	0,04646	0,04554	0,84464	0,98475
9	0,02155	0,01864	0,85895	0,98904
10	0,00762	0,00495	0,86652	0,99163
11	0,00167	0,00067	0,87445	0,99302
12	0,00030	0,00002	0,88165	0,99273
13	0,00003	0	0,88188	0,99454
14	0	0	0,88476	0,99447
15	0	0	0,90750	0,99670
16	0	0	0,90970	0,99720

2. Tabel Perbandingan Sistem dengan 16-QAM (*cameraman.jpg*)

## a) Data ke-1

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,18944	0,43824	-1,13890	0,95265
1	0,14912	0,42215	-0,61754	0,96972
2	0,11220	0,40090	-0,44322	0,97187
3	0,07966	0,37548	-0,28439	0,97694
4	0,05154	0,34503	-0,22077	0,98118
5	0,02950	0,30734	-0,08834	0,97914
6	0,01388	0,24790	-0,00747	0,98302
7	0,00470	0,21949	-0,01748	0,97883
8	0,00116	0,17541	0,03419	0,97987
9	0,00015	0,13280	0,07593	0,98266
10	0,00002	0,09229	0,09485	0,97882
11	0	0,05606	0,10439	0,97831
12	0	0,02696	0,11841	0,97573
13	0	0,00871	0,11957	0,96998
14	0	0,00178	0,13756	0,97211
15	0	0,00017	0,16710	0,96780
16	0	0	0,17350	0,96460

## b) Data ke-2

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	OFDM	SC-FDMA	OFDM	SC-FDMA
0	0,18917	0,43752	-1,2314	0,96320
1	0,15018	0,42048	-0,6562	0,96467
2	0,11152	0,40088	-0,3858	0,97332
3	0,07950	0,37483	-0,2112	0,97910
4	0,05121	0,34428	-0,2151	0,97895
5	0,02966	0,30724	-0,0608	0,98294
6	0,01388	0,26541	-0,0043	0,98399
7	0,00465	0,21991	0,01163	0,98362
8	0,00113	0,17549	0,06753	0,98420
9	0,00019	0,13326	0,05895	0,98228
10	0,00002	0,09226	0,08946	0,97722
11	0	0,05583	0,10680	0,97898
12	0	0,02708	0,12269	0,97429
13	0	0,00876	0,12862	0,97361
14	0	0,00169	0,13924	0,97259
15	0	0,00018	0,17230	0,96560
16	0	0,000003	0,18050	0,96640

## c) Data ke-3

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	OFDM	SC-FDMA	OFDM	SC-FDMA
0	0,18903	0,43738	-1,20253	0,96493
1	0,14840	0,42039	-0,69598	0,96257
2	0,11219	0,40273	-0,42359	0,97524
3	0,07905	0,37624	-0,30012	0,97853
4	0,05169	0,34341	-0,18637	0,98070
5	0,02985	0,30778	-0,09006	0,98108
6	0,01367	0,26494	-0,01211	0,98344
7	0,00472	0,22020	0,02033	0,97853
8	0,00108	0,17500	0,05206	0,97952
9	0,00018	0,13309	0,08018	0,97971
10	0,00001	0,09232	0,10212	0,97972
11	0	0,05567	0,10808	0,97561
12	0	0,02667	0,11694	0,97626
13	0	0,00915	0,12916	0,97185
14	0	0,00177	0,12817	0,97106
15	0	0,00014	0,17510	0,96800
16	0	0,000006	0,17760	0,96640

### 3. Tabel Perbandingan Sistem dengan 64-QAM (*cameraman.jpg*)

#### a) Data ke-1

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,65648	0,46643	-78,41630	0,95809
1	0,61717	0,44858	-7,04790	0,96871
2	0,56542	0,42980	-3,97560	0,96980
3	0,50254	0,40576	-2,91200	0,97582
4	0,42707	0,38119	-2,45620	0,97871
5	0,34242	0,34872	-2,25310	0,98042
6	0,25543	0,31630	-1,97560	0,98215
7	0,17167	0,28106	-1,89380	0,98557
8	0,10151	0,24676	-1,80740	0,98125
9	0,04788	0,20851	-1,74270	0,98729
10	0,01644	0,16952	-1,70780	0,98740
11	0,00395	0,13173	-1,69160	0,98854
12	0,00065	0,09893	-1,65410	0,98867
13	0,00004	0,06817	-1,64210	0,98800
14	0,00001	0,04254	-1,62920	0,98991
15	0	0,02225	-3,47770	0,98910
16	0	0,00780	-3,46310	0,98970

#### b) Data ke-2

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,65801	0,46567	-1,2314	0,96163
1	0,61703	0,44812	-0,6562	0,96563
2	0,56539	0,42939	-0,3858	0,97397
3	0,50285	0,40630	-0,2112	0,97715
4	0,42635	0,37845	-0,2151	0,98045
5	0,34275	0,34938	-0,0608	0,98222
6	0,25442	0,31696	-0,0043	0,98414
7	0,17250	0,28395	0,01163	0,98297
8	0,10094	0,24629	0,06753	0,98488
9	0,04801	0,20737	0,05895	0,98796
10	0,01694	0,16963	0,08946	0,98678
11	0,00402	0,13118	0,1068	0,98853
12	0,00054	0,09817	0,12269	0,98918
13	0,00005	0,06876	0,12862	0,98871
14	0	0,04233	0,13924	0,98772
15	0	0,02201	-3,4807	0,98920
16	0	0,00801	-3,4766	0,98870

## c) Data ke-3

SNR	<i>Bit Error Rate (BER)</i>		<i>Peak to Average Power Ratio (PAPR) (dB)</i>	
	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>	<b>OFDM</b>	<b>SC-FDMA</b>
0	0,65609	0,46716	-70,52273	0,95808
1	0,61625	0,44934	-7,03124	0,96519
2	0,56581	0,42984	-3,94644	0,96968
3	0,50211	0,40634	-2,96257	0,97711
4	0,42771	0,38059	-2,45045	0,97554
5	0,34246	0,34925	-2,16122	0,98068
6	0,25479	0,31588	-1,99143	0,98045
7	0,17236	0,28189	-1,89257	0,98361
8	0,10116	0,24760	-1,79537	0,98233
9	0,04868	0,20871	-1,76284	0,98615
10	0,01668	0,16893	-1,71056	0,98568
11	0,00385	0,13166	-1,68202	0,98689
12	0,00066	0,09899	-1,66093	0,98825
13	0,00005	0,06905	-1,65005	0,98673
14	0,00001	0,04294	-1,63613	0,98705
15	0	0,02232	-3,48990	0,98950
16	0	0,00767	-3,46730	0,98930



**F. Dokumentasi Penelitian**





