



**ANALISA KINERJA PENGKODEAN KANAL MENGGUNAKAN *BCH*
CODE DAN *REED SOLOMON CODE* PADA SISTEM SC-FDMA (*SINGLE*
CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS) UNTUK
TRANSMISI CITRA**

SKRIPSI

Oleh

GILANG RAMADHAN

NIM 151910201006

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



**ANALISA KINERJA PENGKODEAN KANAL MENGGUNAKAN *BCH*
CODE DAN *REED SOLOMON CODE* PADA SISTEM SC-FDMA (*SINGLE*
CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS) UNTUK
TRANSMISI CITRA**

SKRIPSI

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

Oleh

GILANG RAMADHAN

NIM 151910201006

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

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas kasih setia-Nya yang telah melimpahkan segala rahmat yang tak ternilai, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini.

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Nabi besar Muhammad SAW;
2. Kedua Orang tua, Ibu Ninik Ekowati dan Bapak Suhartono;
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
4. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
5. Serta seluruh rekan-rekan yang penulis kenal dan rekan-rekan yang membaca skripsi ini.

MOTTO

“Bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap siaga dan bertaqwalah kepada Allah supaya kamu menang”.

(terjemahan Surat Al-Imron : 200)*)

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah”.

(HR.Turmudzi)**)

“Anda mungkin bisa menunda, tapi waktu tidak akan menunggu”

(Benjamin Franklin)

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

***) (HR.Turmudzi).

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Gilang Ramadhan

NIM : 151910201006

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Menggunakan BCH Code dan Reed Solomon Code pada Sistem SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) untuk Transmisi Citra" 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, 17 Januari 2020

Yang menyatakan

Gilang Ramadhan
NIM 151910201006

SKRIPSI

**ANALISA KINERJA PENGKODEAN KANAL MENGGUNAKAN *BCH*
CODE DAN *REED SOLOMON CODE* PADA SISTEM SC-FDMA (*SINGLE*
CARRIER-FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS) UNTUK
TRANSMISI CITRA**

Oleh

Gilang Ramadhan
NIM 151910201006

Pembimbing :

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Menggunakan BCH Code dan Reed Solomon Code pada Sistem SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) untuk Transmisi Citra" karya Gilang Ramadhan telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jumat, 17 Januari 2020

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Alfredo Bayu Satriya, S.T.,M.T.
NIP 198905192015041001

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP 198405312008121004

Penguji I,

Penguji II,

Widya Cahyadi, S.T., M.T.
NIP 198511102014041001

Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T.
NRP 760014640

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.
NIP. 197008261997021001

Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Menggunakan BCH Code dan Reed Solomon Code pada Sistem SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) untuk Transmisi Citra

Gilang Ramadhan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Teknologi *Long Term Evolution* (LTE) menggunakan 2 sistem pada sisi yang berbeda, yaitu OFDMA pada sisi *downlink* dan SC-FDMA pada sisi *uplink*. SC-FDMA memiliki kelebihan pada sisi efisiensi daya dibandingkan dengan OFDMA. Berdasarkan 3GPP Release 8, modulasi LTE meliputi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Pada penelitian ini digunakan pengkodean kanal BCH dan *Reed Solomon* dianalisa kinerjanya dibandingkan dengan tanpa menggunakan pengkodean kanal pada sistem komunikasi SC-FDMA, serta analisa dilakukan juga terhadap modulasi yang digunakan. Hasil kinerja sistem melewati kanal yang berdistribusi AWGN. Modulasi 16-QAM lebih lebih baik dibandingkan dengan 64-QAM dan QPSK dengan BER sebesar 0,00039 pada saat SNR 4 dB telah mencapai standar dibawah 10^{-3} . Pada pengujian kinerja pengkodean kanal, diketahui bahwa penambahan pengkodean kanal tidak membuat peningkatan yang signifikan pada sistem. Nilai BER dengan menggunakan modulasi QPSK, dengan penambahan pengkodean kanal dibanding dengan tanpa pengkodean kanal menunjukkan nilai yang hampir sama yaitu mencapai standar saat SNR sebesar 7 dB dengan rata-rata BER 0,00077. Meskipun terjadi peningkatan waktu komputasi yang signifikan saat dilakukan penambahan pengkodean kanal, hal tersebut tidak berpengaruh pada nilai BER yang dihasilkan.

Kata kunci : LTE, AWGN, QPSK, QAM, SC-FDMA, BER, SNR

Performance Analysis Of Canal Coding Using BCH Code And Reed Solomon Code In SC-FDMA(Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) System For Image Transmission

Gilang Ramadhan

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

ABSTRACT

Long Term Evolution (LTE) technology uses 2 systems on different sides, namely OFDMA on the downlink side and SC-FDMA on the uplink side. SC-FDMA has advantages in terms of power efficiency compared to OFDMA. Based on 3GPP Release 8, LTE modulation includes QPSK, 16-QAM and 64-QAM. In this study the BCH and Reed Solomon channel coding is analyzed for performance compared to without using channel coding in the SC-FDMA communication system, and analysis is also carried out on the modulation used. The performance results of the system pass through AWGN distribution channels. 16-QAM modulation is better than 64-QAM and QPSK with BER of 0,00039 when the 4 dB SNR has reached the standard below 10⁻³. In testing the channel coding performance, it is known that the addition of channel coding does not make a significant improvement to the system. BER value using QPSK modulation, with the addition of channel coding compared to without channel coding shows almost the same value, which is reaching the standard when the SNR is 7 dB with an average BER of 0,00077. Although there was a significant increase in computational time when the channel coding was added, it did not affect the resulting BER value.

Keywords: LTE, AWGN, QPSK, QAM, SC-FDMA, BER, SNR

RINGKASAN

Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Menggunakan BCH Code dan Reed Solomon Code pada Sistem SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) untuk Transmisi Citra; Gilang Ramadhan; 151910201006; 2019; 59 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem LTE merupakan salah satu implementasi dari perkembangan teknologi *wireless* untuk menyelesaikan permasalahan utama dalam teknologi komunikasi. Pada sisi transmisi, teknologi LTE menggunakan 2 teknologi berbeda yaitu OFDMA dan SC-FDMA. Teknologi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) digunakan pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*. Kelebihan dari sistem komunikasi SC-FDMA adalah mempunyai nilai *Power Average Power Ratio* (PAPR) yang kecil dibandingkan dengan sistem komunikasi OFDM sehingga dapat menghemat daya dari *User Equipment* (H. G. Myung, 2006).

Pada dunia telekomunikasi, jenis data yang dikirimkan baik berupa suara, citra, data maupun video. Kanal yang digunakan berupa kanal fisik dan non-fisik. Pada kanal non-fisik, gangguan yang sering terjadi yaitu *miss* data yang diakibatkan oleh *fading* yang mengakibatkan sinyal yang dikirim akan tersebar dan menimbulkan interferensi satu sama lain karena perbedaan fasa di sisi penerima. Solusi untuk menangani masalah ini salah satunya adalah menambahkan pengkodean kanal (*channel code*) berupa *encoder* dan *decoder*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sarnin (2007) yang berisi tentang evaluasi performa dari modulasi BPSK dan QPSK menggunakan 3 *channel code* yaitu BCH code, *Cyclic code* and *Hamming code* yang melewati kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), menghasilkan nilai BER yang kecil serta mengurangi *noise* yang terjadi selama transmisi. Menurut Baharuddin (2018), penerapan teknik pengkodean kanal *Reed Solomon* pada sisi pengirim dan penerima akan meningkatkan kinerja meningkat rata-rata sebesar 5 dB. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan memberikan penulis ide untuk melakukan penelitian dengan menggunakan pengkodean BCH dan *Reed Solomon* untuk

meningkatkan kinerja pada sistem SC-FDMA dengan analisa berupa nilai BER terhadap SNR dengan tujuan untuk mengetahui peningkatan performansi sistem.

Metode pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan MATLAB 2019a. Objek yang diuji adalah 3 citra dengan nama *lenna.jpg*, *football* dan *cameraman.jpg* dengan spesifikasi yang berbeda. Pengambilan data dilakukan dengan melalui 3 percobaan pengkodean kanal, yaitu tanpa pengkodean, dengan *BCH code*, dan *Reed Solomon code*. Lalu pada proses modulasi, dilakukan pengambilan data dengan level konstelasi yang berbeda, yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Pengujian data diambil sebanyak 3 kali dan diambil rata-rata untuk menemukan hasil yang lebih akurat.

Pada hasil analisa menggunakan citra *lenna.jpg*, terlihat bahwa grafik BER modulasi 16-QAM memiliki nilai rata-rata BER yang rendah dibandingkan dengan modulasi QPSK dan 64-QAM. Untuk memenuhi standar komunikasi dengan nilai 10^{-3} , modulasi 16-QAM hanya membutuhkan SNR sebesar 4 dB untuk menghasilkan nilai BER sebesar 0,00039. Hal tersebut dikarenakan pada teori titik konstelasi, kinerja modulasi akan semakin baik jika memiliki titik konstelasi yang semakin kecil (F. Amilia, 2016) terlihat 16-QAM lebih baik dibanding 64-QAM yang memiliki titik konstelasi yang berbeda tetapi memiliki jenis modulasi yang sama. Pada pengujian kinerja perbandingan antara penambahan *channel code* terlihat bahwa hasil penambahan *channel code Reed solomon* maupun BCH tidak memberikan hasil yang signifikan, hanya saja waktu komputasi simulasi bertambah ketika penambahan proses *channel code* tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan *channel code* berfungsi sebagai pendeteksi *error* yang terjadi selama transmisi dengan cara menambahkan bit redundansi. Seiring bertambahnya parameter SNR, maka parameter BER juga akan semakin kecil hingga memenuhi standar komunikasi. Peningkatan parameter SNR akan berpengaruh pada kualitas transmisi, semakin tinggi parameter SNR, maka kualitas komunikasi akan semakin baik.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran 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. Ibu DR.Ir.Entin Hidayah, M.U.M Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., Selaku 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 Widya Cahyadi, S.T., M.T. dan Bapak Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran dan masukan untuk memperbaiki tugas akhir ini;
5. Kedua Orang tua Ibu Ninik Ekowati dan Bapak Suhartono, yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, selalu memberi motivasi semangat, dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis serta pengorbanannya selama ini;
6. Saudari sedarah Nurlinda Sulistyanyngtyas dan seluruh keluarga besar yang selalu memberi semangat;
7. Keluarga Besar Universitas Jember Khususnya Keluarga Besar Distorsi 2015 yang selalu mendukung dan kompak selalu;
8. Keluarga Besar Lab Telekomunikasi Terapan yang selalu memberi *support*;
9. Kepada Keluarga Besar KKN 242 yang selalu melekat dihati terima kasih sobat;

10. Kepada Bapak Ahmad Kanzu S., dan Deschie Tri Aksara yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini;
11. 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, 17 Januari 2020

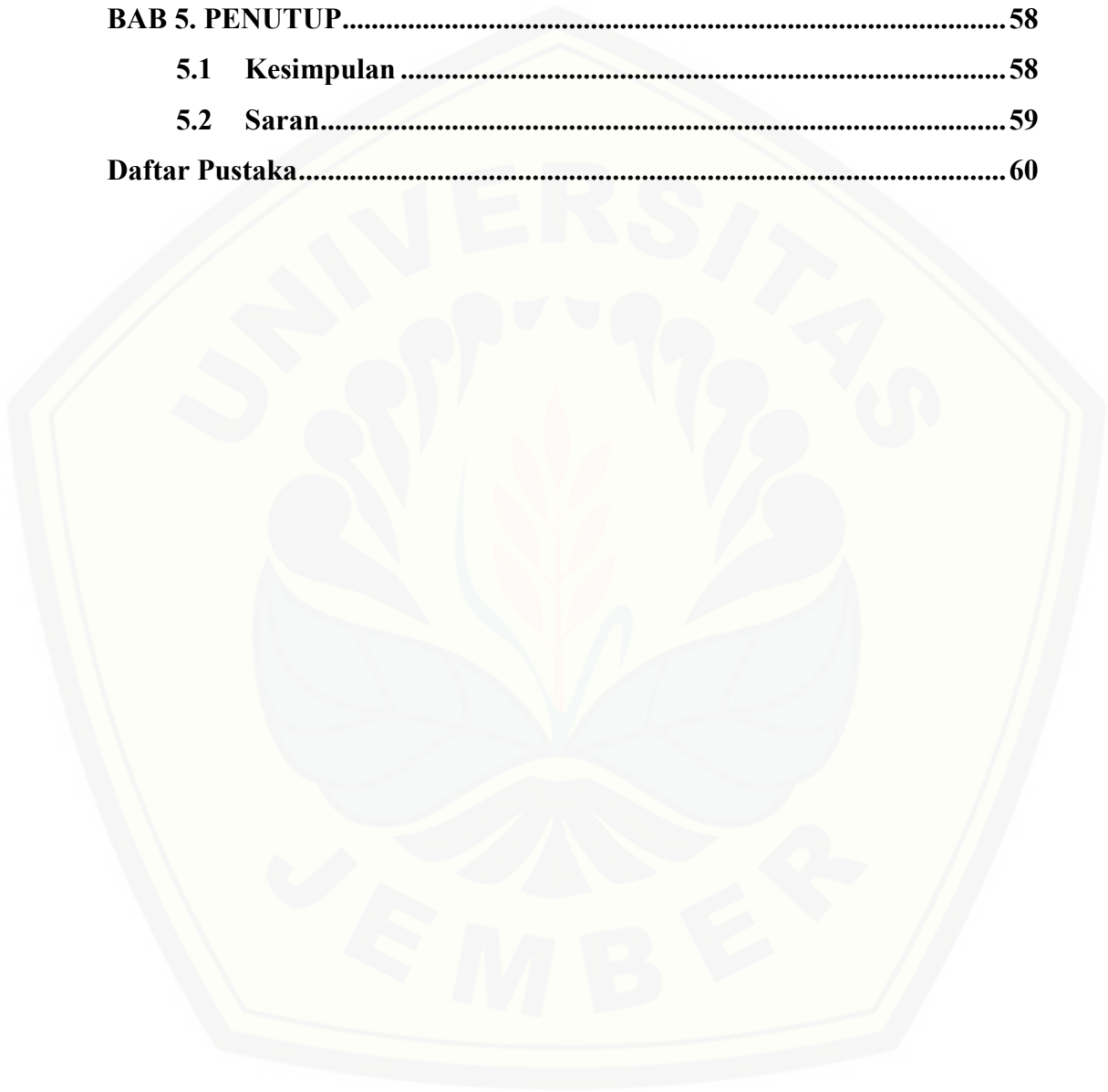
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terkait.....	6
2.2 Kompresi Citra	9
2.2.1 <i>Discrete Cosine Transform</i>	10
2.2.2 Kuantisasi	11

2.2.3	Pengkodean <i>Huffman</i>	11
2.3	Pengkodean Kanal (<i>Channel code</i>).....	11
2.3.1	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) code.....	13
2.3.2	<i>Reed Solomon</i>	15
2.4	Modulasi.....	17
2.4.1	Modulasi Analog.....	17
2.4.2	Modulasi Digital.....	19
2.5	QPSK.....	22
2.6	16-QAM dan 64-QAM.....	23
2.7	<i>Single Carrier-FDMA</i>.....	24
2.8	Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i>.....	26
2.9	Matlab.....	27
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	28
3.1	Rencana Penelitian.....	28
3.1.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.2	Alat dan Bahan.....	28
3.3	Tahap Penelitian.....	29
3.4	Rancangan Sistem.....	30
3.4.1	Kompresi Citra.....	31
3.4.2	Pengkodean Kanal.....	31
3.4.3	Modulasi Sistem.....	32
3.4.4	<i>Single Carrier-FDMA</i>	34
3.4.5	Kanal Propagasi.....	35
3.5	Pengambilan Data.....	36
3.6	Variabel Pengujian Sistem.....	37
3.6.1	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	37
3.6.2	<i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i>	37
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Pengujian Kinerja Tanpa Menggunakan <i>Channel Code</i>.....	39
4.2	Pengujian Kinerja Menggunakan <i>BCH Code</i>.....	42
4.3	Pengujian Kinerja Menggunakan <i>Reed Solomon Code</i>.....	45

4.4 Analisis Kinerja Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM	48
4.5 Analisis Perbandingan Kinerja BCH Code dan <i>Reed Solomon Code</i>	51
BAB 5. PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
Daftar Pustaka	60



DAFTAR GAMBAR

2.1	Diagram Pengkodean Kanal	12
2.2	Diagaram TX dengan <i>Encoding</i>	12
2.3	Diagram RX dengan <i>Decoding</i>	13
2.4	Diagram <i>encoding</i> BCH code	14
2.5	Diagram <i>decoding</i> BCH code	14
2.6	Diagram <i>encoding</i> Reed Solomon code	16
2.7	Diagram <i>decoding</i> Reed Solomon code	16
2.8	Bentuk sinyal modulasi analog	19
2.9	Sinyal modulasi digital ASK	20
2.10	Sinyal modulasi FSK	21
2.11	Sinyal Modulasi PSK.....	21
2.12	Diagram konstelasi QPSK	22
2.13	Modulasi QPSK.....	23
2.14	Diagram konstelasi 16-QAM dan 64-QAM	23
2.15	Diagram blok SC-FDMA	25
2.16	Perbedaan OFDM dan SC-FDMA.....	26
2.17	Tampilan GUI Matlab.....	27
3.1	Blok Diagram Tahapan Penelitian.....	29
3.2	<i>Flowchart</i> Rancangan Sistem	30
3.3	Skema Kompresi Citra.....	31
3.4	Diagram Proses Pengkodean kanal.....	32
3.5	Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan QPSK.....	33
3.6	Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan 16-QAM	33
3.7	Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan 64-QAM	34
3.8	Diagram Sistem SC-FDMA.....	35
4.1	Nilai jumlah bit pada citra <i>lenna.jpg</i>	39
4.2	Perbandingan citra pada sisi pengirim dan penerima menggunakan modulasi QPSK yang menghasilkan BER sebesar 0.....	41

4.3	<i>Output</i> citra saat nilai SNR sebesar -2 dB pada Modulasi QPSK menggunakan citra.....	41
4.4	Jumlah bit yang dihasilkan pada <i>sample</i> pengujian <i>football.jpg</i>	43
4.5	<i>Output</i> citra saat nilai SNR sebesar -2 dB pada Modulasi 16-QAM menggunakan citra.....	44
4.6	Jumlah bit yang dihasilkan pada <i>sample</i> pengujian <i>cameraman.jpg</i>	47
4.7	Perbandingan citra <i>cameraman.jpg</i> pada sisi pengirim dan penerima dengan nilai SNR sebesar 2 dB pada modulasi 64-QAM.....	47
4.8	Grafik perbandingan jenis modulasi pada sistem SC-FDMA Konvensional	50
4.9	Grafik perbandingan jenis modulasi pada sistem SC-FDMA menggunakan BCH <i>code</i>	51
4.10	Grafik perbandingan jenis modulasi pada sistem SC-FDMA menggunakan <i>Reed Solomon code</i>	51
4.11	Grafik perbandingan kinerja sistem SC-FDMA menggunakan modulasi QPSK.....	53
4.12	Grafik perbandingan kinerja sistem SC-FDMA menggunakan modulasi 16 QAM.....	54
4.13	Grafik perbandingan kinerja sistem SC-FDMA menggunakan modulasi 64-QAM.....	55
4.14	Program BCH <i>code</i> dengan <i>codeword</i> 15	55
4.15	Program <i>Reed Solomon code</i> dengan <i>codeword</i> 7.....	56

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Jurnal Terkait.....	6
3.1	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	28
3.2	Citra yang akan diuji.....	36
4.1	Kinerja BER sistem SC-FDMA Konvensional dengan Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dengan modulasi standar LTE	40
4.2	Kinerja BER sistem SC-FDMA Konvensional dengan Menggunakan Citra <i>football.jpg</i> dan <i>Cameraman.jpg</i> dengan Modulasi Standar LTE.....	42
4.3	Kinerja BER sistem SC-FDMA dengan pengkodean BCH <i>code</i> Menggunakan Citra <i>football.jpg</i> dengan Modulasi Standar LTE.....	44
4.4	Kinerja BER sistem SC-FDMA dengan pengkodean BCH Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dan <i>Cameraman.jpg</i> dengan Modulasi Standar LTE	45
4.5	Kinerja BER sistem SC-FDMA dengan pengkodean <i>Reed Solomon</i> Menggunakan Citra <i>cameraman.jpg</i> dengan Modulasi Standar LTE	48
4.6	Kinerja BER sistem SC-FDMA dengan pengkodean <i>Reed Solomon</i> Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dan <i>football.jpg</i> dengan Modulasi Standar LTE	49
4.7	Kinerja Perbandingan jenis Modulasi Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dengan sistem SC-FDMA konvensional	50
4.8	Kinerja Perbandingan sistem SC-FDMA Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dengan Modulasi QPSK	53
4.9	Waktu Komputasi Menggunakan Citra <i>lenna.jpg</i> dengan Modulasi QPSK.....	56

DAFTAR LAMPIRAN

A.	Dokumentasi.....	62
B.	<i>Listing Program</i>	64
	1. Program Tanpa <i>channel code</i>	64
	2. Program BCH <i>code</i>	69
	3. Program <i>Reed Solomon code</i>	75
C.	Data Citra yang Telah Diuji pada Sisi Penerima	81
	1. QPSK.....	81
	2. 16-QAM	82
	3. 64-QAM	83
D.	Data Hasil BER terhadap SNR	84
	1. QPSK.....	84
	2. 16-QAM	84
	3. 64-QAM	85

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini sudah bertambah pesat khususnya pada sistem *wireless*. Permasalahan utama dalam perkembangan teknologi hingga saat ini adalah kebutuhan dalam kecepatan pengiriman data yang selalu menuntut tingkat efisiensi yang tinggi serta penyederhanaan arsitektur dan interface yang terbuka. Dengan permasalahan tersebut, LTE adalah salah satu solusi yang dapat menyelesaikannya dengan standar 3GPP *release 8*.

Teknologi ini sudah mendukung dan memperbaiki beberapa fitur yang belum ada pada teknologi terdahulunya yaitu *mobile phone* generasi 3 (3G). Pada sisi transmisi, teknologi LTE menggunakan 2 teknologi berbeda yaitu OFDMA dan SC-FDMA. Teknologi OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) digunakan pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*.

Standart modulasi yang digunakan pada teknologi LTE telah ditetapkan oleh 3GPP yaitu modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. SC-FDMA merupakan teknik komunikasi menggunakan *single carrier*. Perbedaan dari kedua sistem komunikasi ini adalah pada sistem komunikasi SC-FDMA ditambahkan operasi *Fast Fourier Transform* (FFT) di *transmitter*nya dan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) di *receiver*nya. Kelebihan dari sistem komunikasi SC-FDMA adalah mempunyai nilai *Power Average Power Ratio* (PAPR) yang kecil dibandingkan dengan sistem komunikasi OFDM sehingga dapat menghemat daya dari *User Equipment* (H. G. Myung, 2006).

Pada dunia telekomunikasi, jenis data yang dikirimkan baik berupa suara, citra, data maupun video akan dikirim dari sisi pengirim dan penerima melalui kanal komunikasi, teknik ini disebut transmisi telekomunikasi. Kanal yang digunakan berupa kanal fisik dan non-fisik. Kanal fisik biasanya berupa kabel koaksial maupun fiber optik. Kanal non-fisik dapat berupa gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh *transmitter* hingga data sampai ke *receiver*.

Selama proses transmisi melalui kanal komunikasi pasti terjadi penurunan kualitas informasi. Penurunan kualitas informasi ini disebabkan oleh *noise*, interferensi, delay maupun *fading*. Pada kanal non-fisik, gangguan yang sering terjadi yaitu *miss data* yang diakibatkan oleh *multipath fading* yang mengakibatkan sinyal yang dikirim akan tersebar dan menimbulkan interferensi satu sama lain karena perbedaan fasa di sisi penerima. Solusi untuk menangani masalah ini salah satunya adalah menambahkan pengkodean kanal (*channel code*) pada sisi pengirim dan penerima berupa *encoder* dan *decoder*. Penambahan *channel code* berguna untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan selama proses transmisi (Baharuddin, 2018).

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sarnin, Suzi Seroja (2007) yang berisi tentang evaluasi performa dari modulasi BPSK dan QPSK menggunakan 3 *channel code* yaitu *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) code*, *Cyclic code* and *Hamming code* yang melewati kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*. Secara keseluruhan, pengkodean kanal BCH lebih baik dalam sistem komunikasi dibanding dengan *Cyclic code* and *Hamming code* pada BPSK dan QPSK. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang melakukan analisa tentang pengiriman citra pada LTE dengan menggunakan sistem SC-FDMA serta kompresi DWT menghasilkan nilai BER yang kecil serta mengurangi *noise* yang terjadi selama transmisi.

Berdasarkan penelitian oleh Abbas, Baharuddin (2018) yang melakukan analisa terhadap *noise* dan *fading* pada transmisi citra. Penerapan teknik pengkodean kanal *Reed Solomon* pada sisi pengirim dan penerima akan meningkatkan kinerja dalam sistem telekomunikasi digital. Pada penelitian ini kanal yang digunakan yaitu kanal AWGN dan kanal *Rayleigh*. Hasil simulasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan perbaikan sistem di penerima rata-rata 5dB bila dibandingkan dengan tanpa menggunakan teknik pengkodean kanal *Reed Solomon Code*.

Menurut referensi jurnal yang telah dianalisa memberikan penulis ide yaitu dengan menganalisa perbedaan pengkodean kanal (*channel code*). Referensi jurnal pertama menunjukkan bahwa pengkodean kanal BCH lebih baik dalam kondisi

tersebut dibanding 2 pengkodean kanal lain dan memberikan saran supaya menganalisa pengkodean kanal *Reed Solomon*. Pada referensi penelitian kedua, pengkodean kanal *Reed Solomon* menunjukkan hasil peningkatan kualitas dalam pentransmisi citra. Penulis akan menganalisa pengiriman data berupa citra dalam sistem SC-FDMA melalui kanal AWGN menggunakan pengkodean kanal BCH dan *Reed Solomon* pada sisi penerima dan pengirim dengan modulasi yang digunakan pada sistem LTE yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Dari latar belakang tersebut penulis ingin membuat judul penelitian “Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Menggunakan *BCH Code* Dan *Reed Solomon Code* Pada Sistem SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*) Untuk Transmisi Citra”. Analisa performa berupa data *Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang merupakan hasil dari penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini yaitu :

- a. Bagaimana kinerja modulasi menggunakan QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM pada sistem SC-FDMA ?
- b. Bagaimana pengaruh pengkodean kanal *BCH code* dan *Reed Solomon code* dalam sistem SC-FDMA terhadap transmisi citra ?
- c. Bagaimana analisa *output Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada sistem SC-FDMA khususnya dalam transmisi citra ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, maka diperlukan batasan masalah untuk membatasi permasalahan supaya tidak terlalu luas. Batasan masalahnya sebagai berikut.

- a. Mapping modulasi yang digunakan mengikuti standar IEEE 802.16d yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.
- b. Sistem komunikasi nirkabel yang digunakan adalah LTE pada sisi *uplink*.

- c. Analisa pengkodean kanal menggunakan *BCH code*, *Reed Solomon code* dibanding tanpa menggunakan *channel code*.
- d. Pemodelan kanal propagasi pada simulasi dibuat berdistribusi AWGN.
- e. Hasil *output* simulasi berupa grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR).
- f. Tidak memberikan *output* analisa nilai PAPR.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan oleh penulis dalam tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut.

- a. Mengetahui performa dari masing-masing modulasi yang digunakan yaitu QPSK, 16-QAM dan 64 QAM dalam system SC-FDMA.
- b. Mengetahui performa dari masing-masing *channel code* yang digunakan yaitu BCH dan *Reed Solomon*.
- c. Mampu menganalisa simulasi berupa grafik *Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) sehingga didapat data yang akurat.

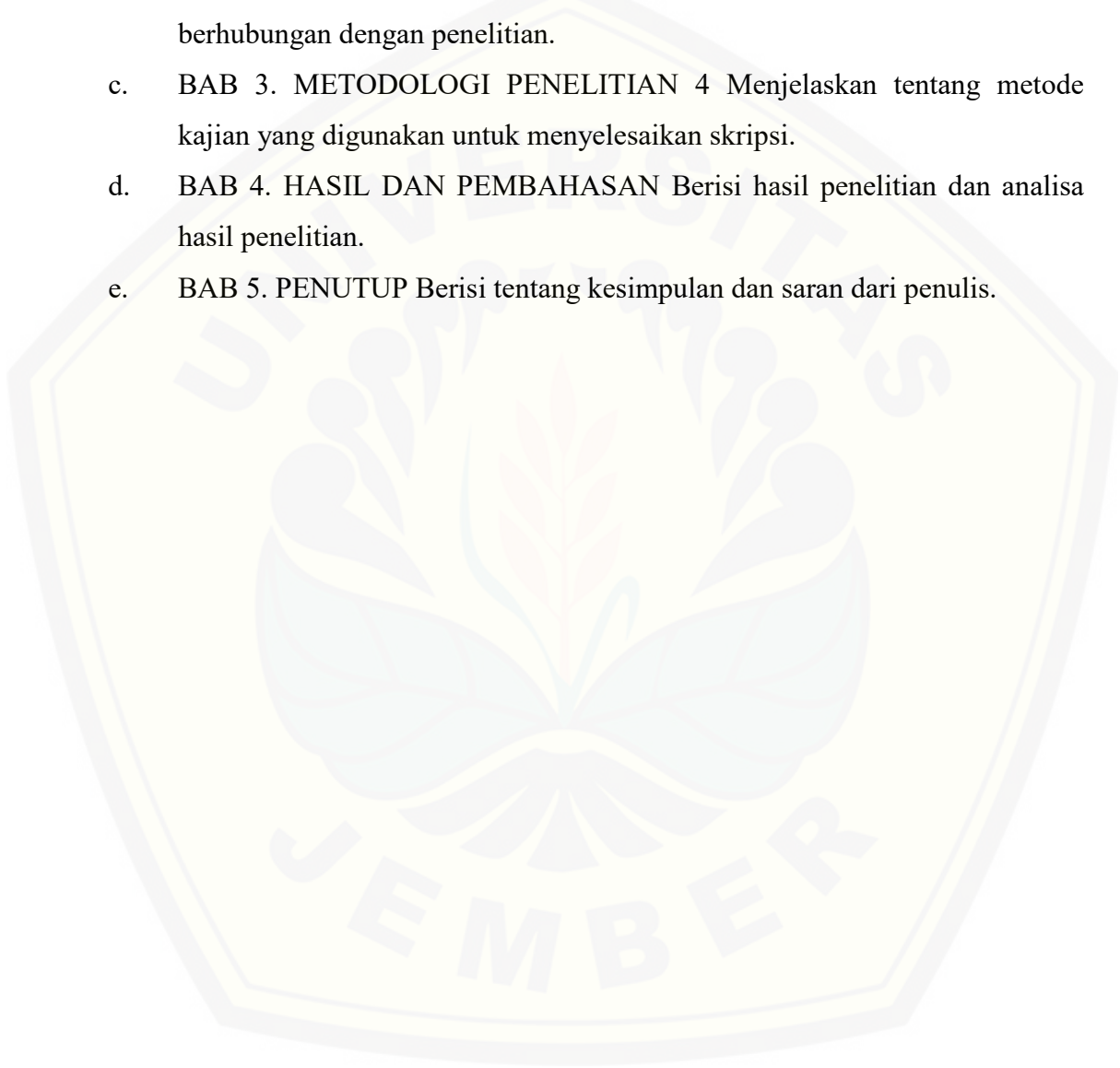
1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dalam penerapannya pada teknologi LTE tentunya diharapkan mampu mengetahui performansi tiap level pengkodean modulasi yang berbeda dengan teknik pengkodean kanal BCH dan *Reed Solomon* dalam pengiriman data berupa citra berwarna, sehingga setiap akan diterapkan pada kondisi yang berbeda dapat menentukan penggunaan modulasi dan sistem pengkodean kanal secara tepat. Selain manfaat tersebut, manfaat yang dapat diambil oleh mahasiswa adalah sebagai tambahan pengetahuan penerapan serta performa dari tiap level pengkodean dari modulasi QAM dan QPSK serta mengetahui performa dari pengkodean kanal *BCH code* dan *Reed Solomon code* dalam petransmisian citra.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. BAB 1. PENDAHULUAN Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.
- b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.
- c. BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN 4 Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.
- d. BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.
- e. BAB 5. PENUTUP Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan diuraikan tentang beberapa dasar teori yang akan digunakan untuk memecahkan masalah pada penelitian ini yang akan digunakan sebagai acuan pada saat melakukan pengujian serta pengambilan data. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat dijelaskan dengan beberapa pembahasan dibawah ini:

2.1 Penelitian Terkait

Tabel 2.1 Tabel Jurnal Terkait

No	Judul	Masalah	Solusi	Nama, Tahun	Kelemahan
1	Image Transmission in 4G LTE using DWT based SC-FDMA System	Sistem OFDMA yang masih memiliki kelemahan seperti tingginya jumlah operator, tingginya delay, ISI tinggi dan ICI.	Menggunakan sistem SC-FDMA berbasis DWT yaitu pengembangan sistem OFDMA yang menghasilkan nilai BER kecil serta mengurangi <i>noise</i> .	V.M. Padmapriya, 2018	Belum ada penambahan pengkodean kanal dalam sistem transmisi, tidak membahas PAPR.
2	Performance Evaluation of Phase Shift Keying Modulation Technique Using BCH Code, Cyclic	Fenomena propagasi multipath yang menyebabkan pemudaran <i>frequency selective</i> karena gema yang	Menggunakan teknik modulasi konstelasi yang lebih tinggi. Menggunakan <i>channel code</i>	Suzi Seroja Sarnin, 2010	Belum membahas pengkodean kanal <i>Reed Solomon</i> .

	Code and Hamming Code Through AWGN Channel Model in Communication System	tumpang tindih, yang menyebabkan degradasi BER.	untuk mengoreksi pesan yang dikirim.		
3	Image transmission quality analysis over adaptive BCH coding	Mencari kompresi yang efisien dan mengurangi kapasitas <i>channel</i> dengan efisiensi transmisi.	Metode pengkodean BCH untuk kemampuan koreksi kesalahan yang berbeda. skema BCH adaptif diusulkan untuk memilih kemampuan koreksi yang menawarkan kualitas gambar terbaik yang direkonstruksi untuk setiap SNR rata-rata	Lamia Chaari, 2010	Belum membahas parameter SNR.
4	Performance Analysis of Reed Solomon Code & BCH Code for	Evaluasi kinerja BCH dan <i>Reed Solomon</i> untuk mengurangi	Kombinasi dari beberapa skema modulasi lain sehingga	Monica Kapoor, 2017	Belum membahas analisis parameter SNR.

	various Modulation Schemes over AWGN Channel	bandwidth konstan.	menghasilkan nilai BER paling sedikit.		
5	Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Type Reed Solomon Coding pada Kualitas Transmisi Citra	Adanya <i>noise</i> dan <i>fading</i> dalam transmisi akan menyebabkan terganggunya sistem telekomunikasi, sehingga terjadi perubahan bit atau simbol pada sisi penerima	Menambahkan pengkodean kanal untuk mengurangi kesalahan bit serta mengurangi terjadinya kesalahan penerimaan data dengan menambahkan encoder dan decoder.	Baharuddin, 2018	Belum ada variasi modulasi yang digunakan.

6	Analisis Kinerja Jenis Modulasi pada Sistem SC-FDMA	menganalisis kinerja sistem pengaruh penggunaan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM pada sistem komunikasi SCFDMA dengan melewati kanal AWGN dan kanal Rayleigh Fading	kinerja sistem melewati kanal AWGN pada modulasi QPSK lebih baik dibandingkan dengan modulasi 16-QAM dan modulasi 64-QAM secara keseluruhan.	Fitri Amillia, 2016	Tidak membahas pengkodean kanal.
---	---	---	--	---------------------	----------------------------------

2.2 Kompresi Citra

Citra merupakan sekumpulan titik, garis, warna serta bidang yang tersusun secara teratur membentuk suatu objek 2 dimensi maupun 3 dimensi. Bentuk objek 2 dimensi biasanya berupa foto, lukisan maupun 3 dimensi yang berupa patung. Seiring berkembangnya jaman, citra tidak hanya berbentuk lukisan, tetapi juga berbentuk foto atau gambar yang diambil bersararkan pencahayaan yang cukup, serta berisi informasi penting.

Citra juga berisi simbol atau gambar sebagai informasi yang digunakan untuk bertukar data atau komunikasi satu sama lain. Citra yang berkualitas biasanya memiliki ukuran yang besar. Pada proses pengiriman, citra yang memiliki ukuran besar akan memakan waktu lebih lama dibanding citra yang berukuran lebih kecil.

Kompresi citra bertujuan untuk mengurangi redundansi pada citra sehingga ukuran citra yang akan ditransmisikan lebih kecil dan lebih efisien tanpa mengubah informasi yang ada dalam citra. Terdapat 2 teknik kompresi citra yaitu *loseless compression* dan *lossy compression*.

Loseless compression adalah teknik kompresi citra yang tidak menghilangkan informasi dalam citra. Biasanya digunakan dalam citra medis. Salah satu yang menggunakan metode *loseless* adalah pengkodean *Huffman*. *Lossy* adalah teknik kompresi citra dengan menghilangkan beberapa informasi citra sehingga detail citra lebih sederhana dan memiliki ukuran lebih kecil.

2.2.1. Discrete Cosine Transform

Discrete cosine transform merupakan jenis kompresi yang melakukan konversi data dalam bentuk spasial ke bentuk frekuensi lalu melakukan inversi dengan menggunakan transformasi kosinus. Citra merupakan sinyal dua dimensi maka diperlukan versi dua dimensi dari DCT untuk C yaitu :

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

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

Dengan $u=0,1,2,\dots, N-1$, dan $v=0,1,2,\dots,M-1$, sedangkan

$$a(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{untuk } k = 0 \\ 1 & \text{untuk } k \neq 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Inverse *discrete cosine transform* dimensi 2 dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} C(u, v) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2M}\right) \quad (2.4)$$

$$\sum_{v=0}^{M-1} \alpha(u) \alpha(v) C(u, v) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2M}\right) \quad (2.5)$$

Dengan $x=0,1,2,\dots, N-1$, dan $y=0,1,2,\dots,M-1$.

2.2.2. Kuantisasi

Teknik kuantisasi merupakan teknik pemampatan citra dengan mengurangi jumlah bit yang mempresentasikan citra tanpa menurunkan kualitas citra. Misal pada citra yang memiliki 128 bit menjadi 16 bit setelah melalui proses kuantisasi. Dimensi citra tidak diturunkan, teknik ini hanya memampatkan bit dalam citra.

Dalam domain frekuensi, metode kuantisasi citra merupakan bagian dari proses digitalisasi citra analog yaitu teknik pengelompokan nilai tingkat keabuan citra kontinyu ke dalam beberapa level. Pada proses pemfilteran tingkat keabuan masuk ke dalam domain frekuensi. Hitam dinyatakan dengan nilai derajat terendah yaitu 0 dan putih menjadi nilai derajat tertinggi yaitu 256 dalam tingkatan keabuan.

2.2.3. Pengkodean *Huffman*

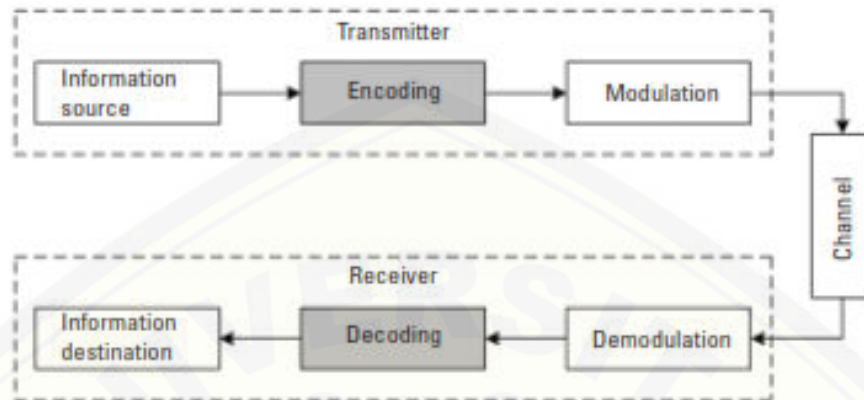
Setelah melalui proses *discrete cosine transform* maka kompresi citra akan masuk ke dalam algoritma *Huffman*. Langkah-langkah pada algoritma *Huffman* adalah sebagai berikut.

- a. Mengubah data citra yang berupa matriks menjadi vektor dan menghitung besarnya data citra.
- b. Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan citra yang memiliki nilai yang sama serta frekuensi munculnya.
- c. Selanjutnya adalah mengurutkan warna dari frekuensi terkecil ke yang terbesar.
- d. Lalu mengganti data warna menjadi kode bit berdasarkan bilangan binernya. Angka 0 dan 1 mewakili 1 bit data.

2.3 Pengkodean Kanal (*Channel code*)

Pada proses pengiriman data informasi dari pengirim ke penerima, terdapat beberapa proses, salah satunya adalah pengkodean kanal (*channel code*). Pengkodean kanal adalah suatu teknik yang digunakan untuk meningkatkan performansi dari suatu sistem pengiriman informasi. Peningkatan performansi

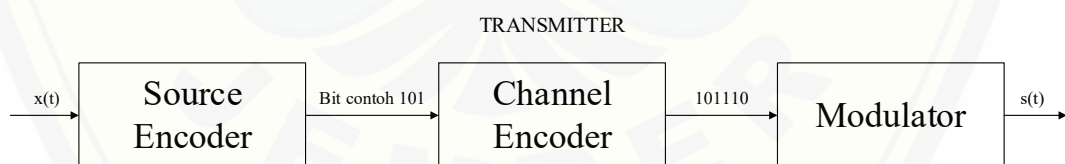
dilakukan dengan mendesain ulang sumber informasi supaya lebih tahan terhadap gangguan *noise*, *fading* serta *jaming*.



Gambar 2.1 Sistem Telekomunikasi dengan Pengkodean Kanal

(Sumber : Yuan Jiang, 2010)

Diagram *Channel code* berfungsi untuk menjaga informasi atau data digital dari gangguan yang mungkin terjadi selama proses transmisi dengan cara menambah bit redundansi (tambahan) ke dalam data yang akan dikirimkan. *Channel code* yang digunakan untuk mendeteksi *error* disebut *error detection code*, sedangkan yang mampu mengoreksi *error* disebut *error correction code* (Galih H, 2011).



Gambar 2.2 Diagram TX dengan *Encoding*

(Sumber : Galih H, 2011)

Pada sisi transmitter sumber informasi yang dikirimkan dapat berupa suara, gambar maupun video. Tujuan utama penggunaan *channel code* pada sisi *transmitter* adalah untuk mengurangi *error* yang mungkin terjadi. Bit-bit biner yang sudah melewati *channel code* akan mengalami penambahan bit (bit redundansi) yang akan menambah *bandwidth* yang dibutuhkan selama transmisi.

Sebelum masuk pada proses *channel coding* data harus berupa data digital lalu akan dikodekan sesuai urutannya melalui kanal. Ada 2 macam tipe dasar *channel code* yaitu *block code* dan *convolutional code*.

1. *Block code*

Block code merupakan salah satu kode yang bersifat *Forward error correction* (FEC) yang bisa mengoreksi dan mendeteksi *error* tanpa proses transmisi ulang.

2. *Convolutional code*

Convolutional code memiliki perbedaan yaitu dari sisi pengurutan bit, pada teknik ini bit-bit informasi tidak dikelompokkan dalam blok sebelum dikodekan.

Channel decoding merupakan proses dimana hasil pengkodean dari *input encoding* akan diterjemahkan kembali dalam bentuk data dengan metode tertentu untuk memperkirakan kemungkinan jumlah *error* paling minimum. Bit-bit kode yang telah ditransmisikan memiliki hubungan urutan dengan bit informasinya. Blok diagram bagian *receiver* dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.3 Diagram RX dengan *Decoding*

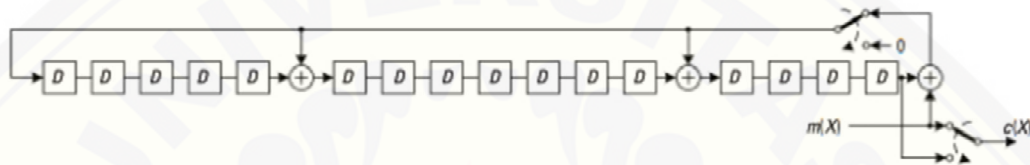
(Sumber : Galih H, 2011)

2.3.1. *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem* (BCH) code

Dalam teori kode (*coding theory*), kode BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) adalah salah satu jenis kode pengoreksi *error* bertipe siklik yang dibangun menggunakan asas himpunan terbatas. Kode BCH sendiri dibuat pada tahun 1959 oleh matematikawan asal Prancis bernama Alexis Hocquenghem, dan juga secara terpisah oleh Raj Bose dan D. K. Ray-Chaudhuri pada tahun 1960 (J. Chen, 1999).

Karakteristik yang dimiliki oleh pengkodean BCH ini adalah pendesain kode dapat mengatur sendiri berapa kapasitas koreksi yang diinginkan, seperti contoh ketika pendesain memerlukan 4 bit *error* dalam suatu sistem, maka didesainlah pengkodean BCH dengan kapasitas koreksi 4 bit. Prosedur kerja dari pengkodean BCH dapat dirincikan sebagai berikut (Lamia Charri, 2008).

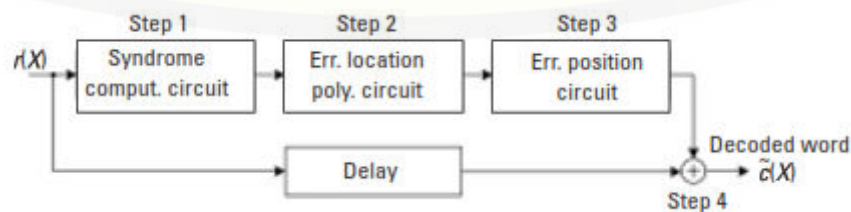
1. Proses *encoding* yaitu proses dimana kumpulan *checkbit* yang akan dikirim akan terkumpul.



Gambar 2.4 Diagram *encoding* BCH code

(Sumber : Yuan Jiang, 2010)

- i. Bentuk *Galois Field*, $GF(2^m)$
 - ii. Menentukan $2t - 1$ buah minimal *polynomial*.
 - iii. Bentuk generator polinomial ($g(x)$)
 - iv. Menambahkan bit 0 dibelakang bit biner pesan.
 - v. Melakukan operasi pembagian biner terhadap gabungan pesan 0 dengan $g(x)$.
 - vi. Sisa hasil pembagian merupakan *checkbit*.
 - vii. Bit informasi + *checkbit* adalah informasi yang akan dikirimkan.
2. Proses *decoding*, yaitu proses pendektesian *error* dan pengoreksian data apabila ditemukan kesalahan.



Gambar 2.5 Diagram *decoding* BCH code

(Sumber : Yuan Jiang, 2010)

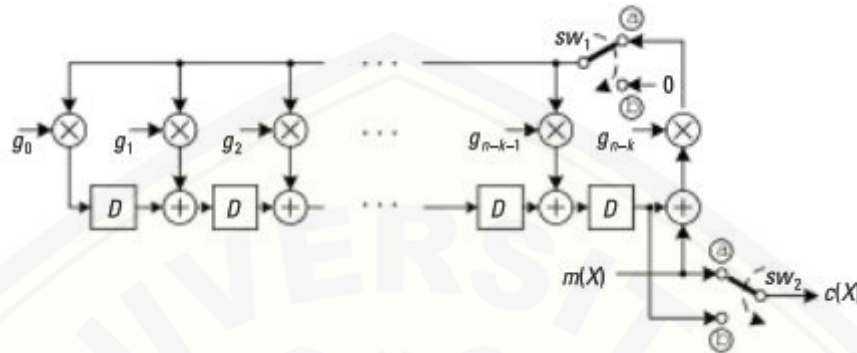
- a. Prosedur pendekteksian kesalahan (*error detection*).
 - i. $V(x) \div g(x)$
 - ii. Jika hasil pembagian tersebut bernilai 0, berarti tidak terjadi *error*.
 - iii. Jika tidak bernilai 0, maka terdapat *error* lanjut ke proses koreksi.
- b. Prosedur koreksi kesalahan (*error correction*).
 - i. Menentukan $2t$ buah minimal *polynomial*.
 - ii. Menghitung *syndrome* S_1, \dots, S_{2t} dari *codeword*.
 - iii. Bentuk tabel BCH dengan menggunakan algoritma Peterson-Berlekamp.
 - iv. Hasil Akhir $\sigma^{(n)}(x)$ merupakan polinomial pendeteksi lokasi *error*.
 - v. Setelah itu, mencari akar dari persamaan polinomial tersebut dengan metode *trial and error*.
 - vi. Kemudian mencari nilai kebalikan dari akar-akar tersebut. Nilai ini merupakan posisi bit *error*.

2.3.2. Reed Solomon code

Reed solomon code adalah suatu teknik penghapusan dan pengoreksian *error* yang baik dan dijadikan standar dalam banyak bidang telekomunikasi seperti komunikasi satelit maupun komunikasi *mobile*. Dalam komunikasi nirkabel, data yang ditransmisikan oleh *transmitter* kemungkinan akan terkena *noise* selama proses pemfilteran yang mengakibatkan rusaknya data sebelum sampai ke penerima (Lamia Chaari, 2010).

Pada bagian *decoder*, pengkodean *Reed solomon* dapat mengembalikan data yang terkena *noise* tersebut. Kelebihan pengkodean dengan *Reed solomon* adalah *non-binary code* (data bukan dalam bentuk biner) sehingga memiliki kemampuan koreksi data lebih banyak. Secara umum, pengkodean ini berkerja dengan menambahkan bit *parity* kedalam data yang akan dikirimkan. Secara garis besar prosedur kerjanya dapat dituliskan sebagai berikut (Baharuddin, 2018).

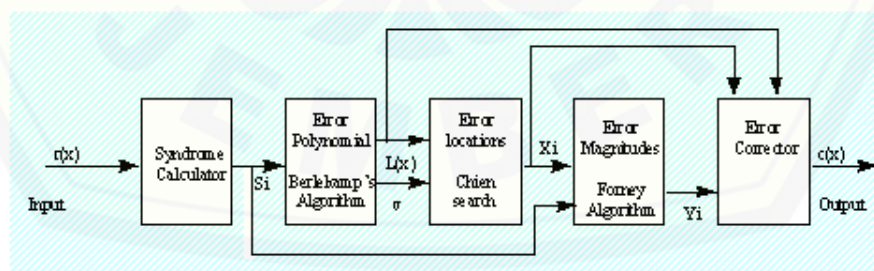
1. Proses *encoding* yaitu proses pembentukan *code word* yang akan ditransmisikan, proses pembentukan *code word* menggunakan metode siklis yaitu :



Gambar 2.6 Diagram *encoding* Reed Solomon code

(Sumber : Yuan Jiang, 2010))

- i. Mengalikan sumber informasi $u(x)$ dengan X^{n-k}
 - ii. Mencari digit *parity check*, yaitu nilai sisa $b(x)$ dengan membagi $X^{n-k}u(x)$ dengan generator polinomial $g(x)$
 - iii. *Code word* yang dihasilkan merupakan hasil penjumlahan dari $b(x)$ dan $X^{n-k}u(x)$.
2. Proses *decoding*, yaitu proses pendeteksi *error* dan pengoreksian *error* apabila ditemukan *error*.



Gambar 2.7 Diagram *decoding* Reed Solomon code

(Sumber : Martyn Riley, 1998)

- a. Membentuk *syndrome* $n-k$ simbol, jika *syndrome* = 0, maka *codeword* yang diterima valid tidak terjadi *error*, jika *syndrome* $\neq 0$, maka terjadi *error*.
- b. Jika terjadi *error*, maka masuk kedalam proses koreksi kesalahan dengan algoritma Euclidean untuk menentukan *error locator polinomial* dan *error magnitude*.
- c. Algoritma Chien Search, digunakan untuk menentukan posisi *error*.
- d. Algoritma Forney's digunakan untuk menentukan besaran *error*, dan memperbaiki bit *error*.

2.4 Modulasi

Modulasi merupakan suatu proses perubahan parameter dari suatu gelombang divariasikan terhadap gelombang lain secara proporsional. Parameter yang diubah tergantung pada parameter-parameter modulasi yang digunakan. Proses modulasi menggunakan dua buah sinyal, yaitu sinyal informasi dan sinyal pembawa (*carrier*) dimana sinyal informasi ditumpangkan ke sinyal pembawa supaya dapat ditransmisikan dengan jarak yang lebih jauh (Rappaport, 1996).

Secara garis besar, modulasi yaitu proses dimana gelombang yang telah termodulasi yang di transmisikan dari *transmitter* ke *receiver*. Pada sisi penerima (*receiver*) terjadi proses demodulasi yaitu proses konversi sinyal termodulasi ke bentuk sinyal aslinya. Rangkaian yang digunakan untuk proses modulasi disebut modulator, sedangkan untuk proses demodulasi disebut demodulator.

Modulasi terbagi menjadi 2 yaitu modulasi analog dan modulasi digital.

2.4.1. Modulasi Analog

Modulasi analog merupakan pengiriman data yang masih berupa sinyal analog atau disebut sinyal sinusoida. Adapun yang termasuk modulasi analog yaitu sebagai berikut.

a. *Amplitude Modulation (AM)*

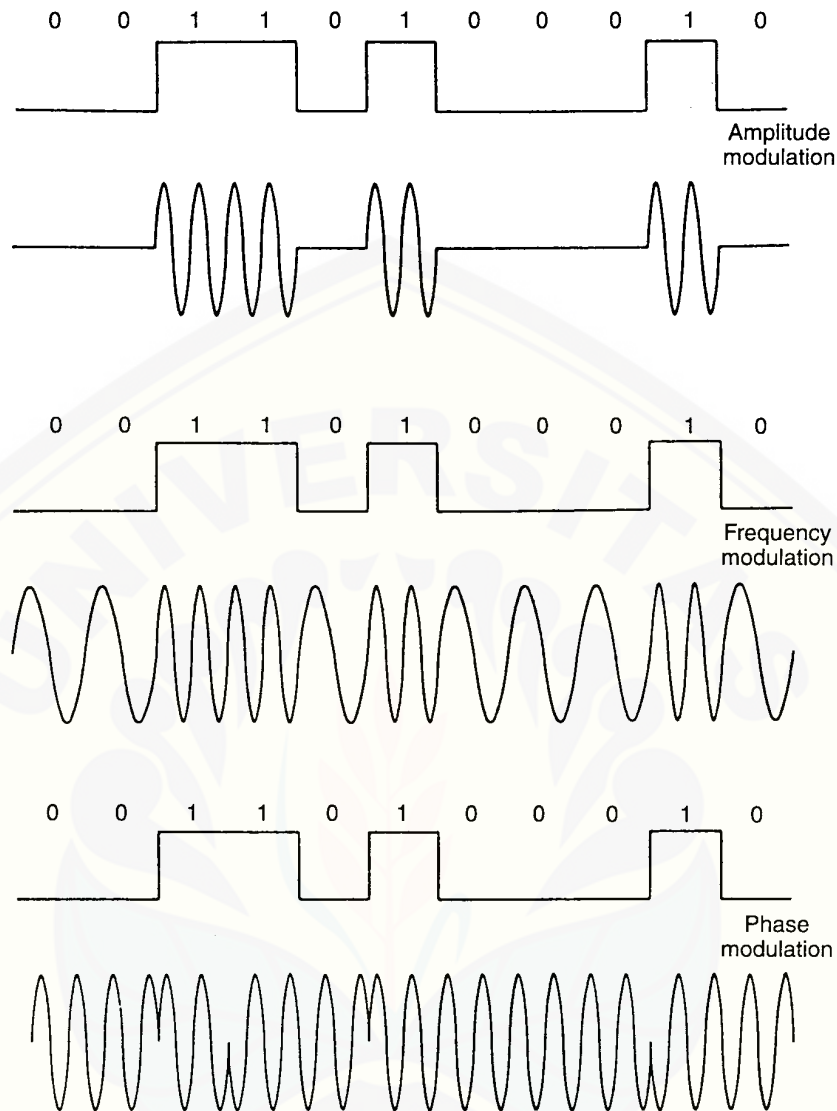
Amplitude Modulation (AM) adalah modulasi yang paling sederhana. Gelombang pembawa (*carrier wave*) diubah amplitudonya sesuai dengan signal informasi yang akan dikirimkan. Modulasi ini disebut juga linear modulation, artinya bahwa pergeseran frekuensinya bersifat linier mengikuti signal informasi yang akan ditransmisikan.

b. *Frequency Modulation (FM)*

Frequency Modulation (FM) adalah nilai frekuensi dari gelombang pembawa (*carrier wave*) diubah-ubah menurut besarnya amplitudo dari signal informasi. Karena noise pada umumnya terjadi dalam bentuk perubahan amplitudo, FM lebih tahan terhadap noise dibandingkan dengan AM.

c. *Phase Modulation (PM)*

Phase Modulation (PM) adalah proses modulasi yang mengubah fasa signal pembawa sesuai dengan signal pemodulasi atau signal pemodulasinya. Sehingga dalam modulasi PM amplitudo dan frekuensi yang dimiliki signal pembawa tetap, tetapi fasa signal pembawa berubah sesuai dengan informasi.



Gambar 2.8 Bentuk sinyal modulasi analog

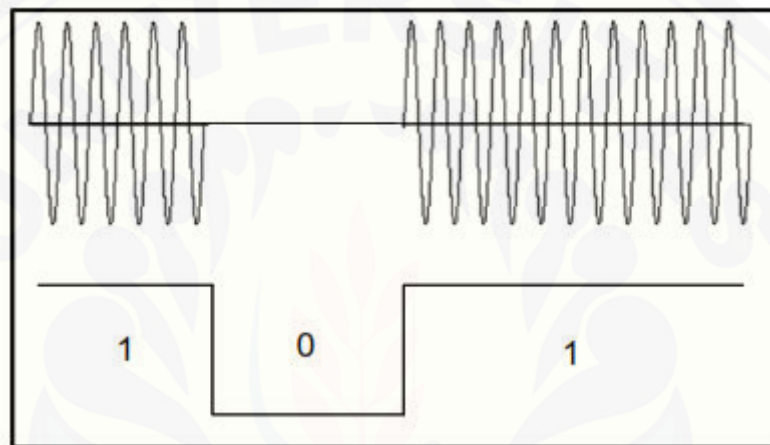
(Sumber : Roger L. Freeman, 1999)

2.4.2. Modulasi Digital

Modulasi digital merupakan teknik pengkodean sinyal dari sinyal analog ke sinyal digital (bit-bit pengkodean). Pada teknik ini, sinyal informasi digital yang akan dikirimkan dipakai untuk mengubah frekuensi dari sinyal pembawa. Dalam komunikasi digital, sinyal informasi dinyatakan dalam bentuk digital berupa biner "1" dan "0", sedangkan gelombang pembawa berbentuk sinusoidal yang termodulasi disebut juga modulasi digital. Adapun yang termasuk kedalam modulasi digital adalah sebagai berikut:

a. *Amplitude Shift Keying (ASK)*

Modulasi digital *Amplitude Shift Keying (ASK)* adalah pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran amplitudo. Sistem modulasi ini merupakan sistem modulasi yang menyatakan sinyal digital 1 sebagai suatu nilai tegangan dan sinyal digital 0 sebagai suatu nilai tegangan yang bernilai 0 volt. Sehingga dapat diketahui bahwa didalam sistem modulasi ASK, kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada tidaknya sinyal informasi digital. Adapun bentuk dari sinyal modulasi digital *Amplitude Shift Keying (ASK)* ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.

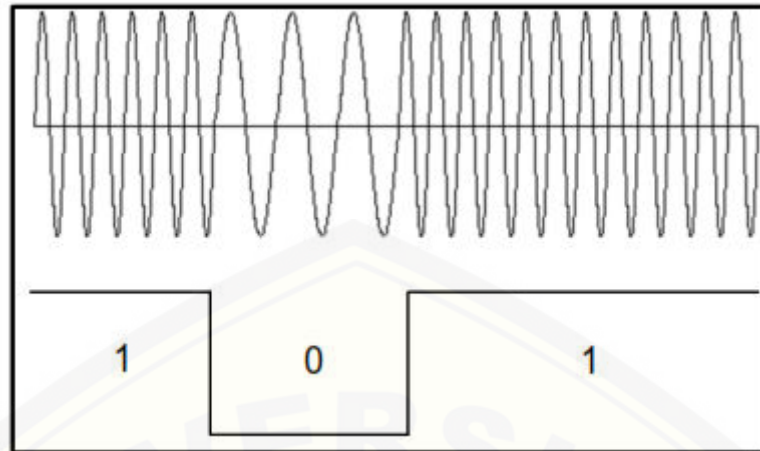


Gambar 2.9 Sinyal modulasi digital ASK

(Sumber : Bernard, 2001)

b. *Frequency Shift Keying (FSK)*

Modulasi digital *Frequency Shift Keying (FSK)* merupakan sejenis Frequency Modulation (FM), dimana sinyal pemodulasinya (sinyal digital) menggeser outputnya antara dua frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya, yang biasa diistilahkan frekuensi *mark* dan *space*. Modulasi digital dengan FSK juga menggeser frekuensi *carrier* menjadi beberapa frekuensi yang berbeda di dalam *band*-nya sesuai dengan keadaan digit yang dilewatkannya. Jenis modulasi ini tidak mengubah amplitudo dari signal *carrier* yang berubah hanya frekuensi. Teknik FSK banyak digunakan untuk informasi pengiriman jarak jauh atau *teletype*. Adapun bentuk dari sinyal modulasi digital Frequency Shift Keying (FSK) ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut.

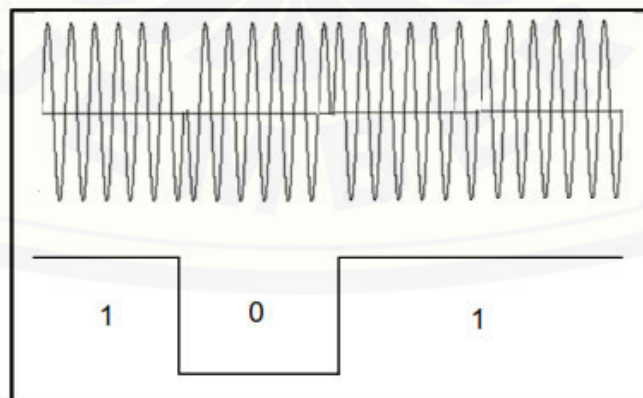


Gambar 2.10 Sinyal modulasi FSK

(Sumber : Bernard, 2001)

c. *Phase Shift Keying (PSK)*

Modulasi digital *Phase Shift Keying (PSK)* merupakan modulasi yang menyatakan pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran fasa. Biner 0 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa yang sama terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya dan biner 1 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa berlawanan dengan sinyal dengan sinyal yang dikirim sebelumnya. Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi digital. Adapun bentuk dari sinyal modulasi digital *Phase Shift Keying (PSK)* dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut.

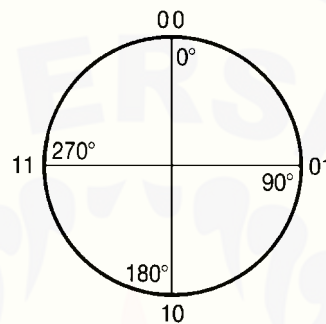


Gambar 2.11 Sinyal modulasi PSK

(Sumber : Bernard, 2001)

2.5 QPSK

Pada transmisi digital dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, yaitu mengirimkan 1 dari 4 sinyal yang mungkin selama interval waktu tertentu dimana setiap sinyal unik sama dengan (pasangan bit) 00, 01, 11, 10. Pada QPSK sinyal yang ditumpangkan pada sinyal pembawa, mempunyai empat kemungkinan dari setiap pasangan bitnya.



Gambar 2.12 Diagram konstelasi QPSK

(Sumber : Roger L. Freeman, 1999)

Untuk diagram konstelasi diatas, pada setiap titiknya itu berbeda sudut fasanya sebesar 90^0 , Atau bisa dilihat dari persamaan dibawah ini.

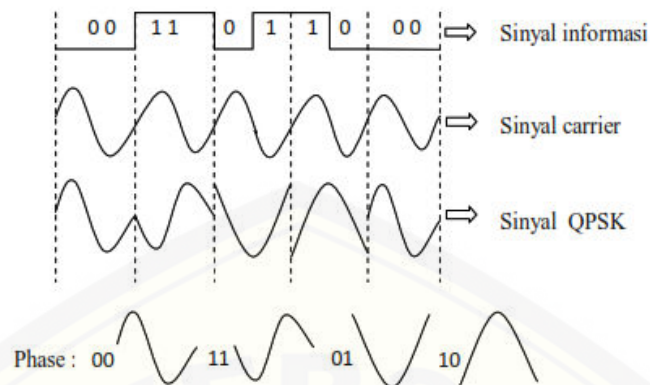
$$Ac \cos \left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4} \right) \text{ simbol } 11$$

$$Ac \cos \left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4} \right) \text{ simbol } 01$$

$$Ac \cos \left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4} \right) \text{ simbol } 00$$

$$Ac \cos \left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4} \right) \text{ simbol } 10$$

Dalam QPSK, fasa dari sinyal pembawa membawa satu dari empat harga seperti 0^0 , 90^0 , 180^0 dan 270^0 . bentuk sinyal QPSK dapat digambarkan sebagai berikut.

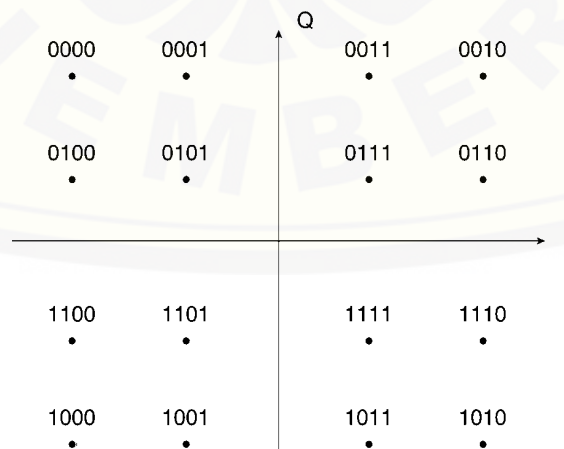


Gambar 2.13 Modulasi QPSK

(Sumber : Rahmat, 2013)

2.6 16-QAM dan 64-QAM

Modulasi 16-QAM merupakan modulasi QAM yang menggunakan inputan 4 bit dengan 16 kondisi logika. QAM 16 keadaan adalah teknik encoding M-er dengan $M = 16$ dimana ada 16 keluaran yang mungkin dengan amplitudo dan fasa yang berbeda. Data masukan di bagi menjadi 4 bit ($2^4 = 16$) /yang disebut QUADBIT. Data masukan biner di bagi menjadi 4 kanal yaitu : I, I', Q, dan Q' laju bit pada masing-masing kanal sebesar $1/4$ dari laju bit masukan ($f_b / 4$). Empat bit masukan secara serial sampai pembelahan bit, dan dikeluarkan secara serentak dan paralel pada kanal I, I', Q, dan Q'.



Gambar 2.14 Diagram Konstelasi 16-QAM

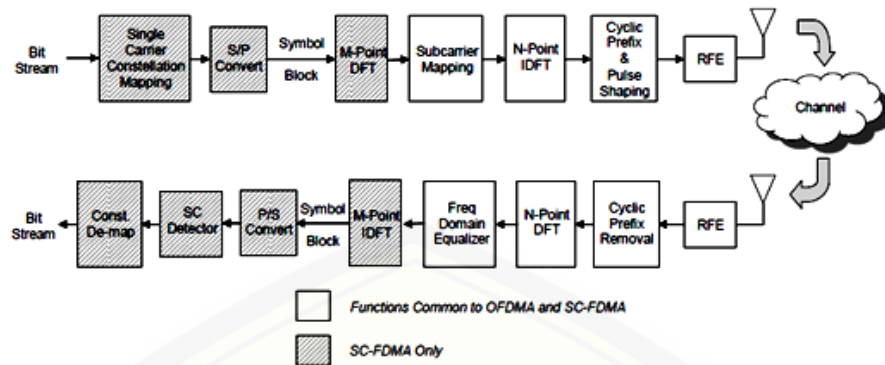
(Sumber : Roger L. Freeman, 1999)

64-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan $M=64$ sehingga untuk masukan digital kemodulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 6. Modulasi 16-QAM adalah modulasi QAM dimana dalam satu simbolnya memuat 4 bit data yang akan ditransmisikan. *Symbol* dapat menyatakan 16 nilai yang berbeda (0000, 0001, 0010.....1111). Sedangkan Modulasi 64-QAM setiap simbol dapat menyatakan dalam 64 nilai (000000, 000001, 000010,.....111111).

2.7 Single Carrier – FDMA

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) dan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) adalah pengembangan skema dari OFDM dan SC/FDE. Teknik akses jamak SC-FDMA mengirimkan beberapa sinyal secara bersamaan. Semua teknik pembagian frekuensi ortogonal menggunakan *subcarrier* ortogonal diskrit yang didistribusikan di seluruh *bandwidth*. Long Term Evolution menggunakan sistem komunikasi SC-FDMA pada sisi *uplink* yakni dari *User Equipment* (UE) ke *Evolvod Node B* (eNodB). Salah satu alasan dipilihnya teknologi SC-FDMA pada sisi uplink LTE karena mempunyai nilai *Peak Average Power Ratio* (PAPR) yang kecil dibandingkan dengan OFDMA. Hal ini dikarenakan sistem transmisi SC-FDMA memiliki durasi waktu yang lebih singkat dengan lebar *subcarrier* yang lebih besar dibandingkan SCFDMAA sehingga apabila terkena *noise* maka variasi daya yang terjadi antara *carrier*-nya tidak terlalu besar (H. G. Myung, 2006).

SC-FDMA memiliki struktur dan performa yang hampir sama dengan OFDM, hanya pada teknik ini terdapat penambahan proses DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada sisi *transmitter*. Berbeda dengan OFDM, pada SC-FDMA ini setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga disebut juga *DFT-spread OFDM*. Proses transmisi pada SC-FDMA dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.15 Diagram blok SC-FDMA

(Sumber : Hyung & David, 2006)

Proses dalam diagram blok pada gambar 2.15 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Sisi Pengirim

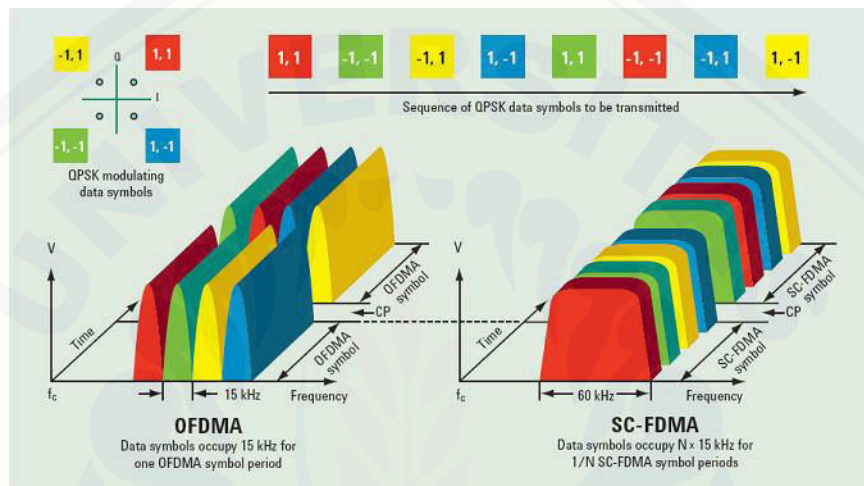
- *Constellation Mapper* : mengubah aliran input bit menjadi simbol *single carrier* (modulasi BPSK, QPSK atau 16-QAM berdasar keadaan kanal).
- *S/P Convert* : mengelompokkan simbol-simbol *single carrier* ke dalam sebuah blok berisi M simbol dijadikan input FFT.
- *M-Point DFT* : mengubah blok simbol *single carrier* (domain waktu) menjadi *tone discrete* (domain frekuensi).
- *N-Point IDFT* : mengubah kembali ke domain waktu.
- *Cyclic Prefix & Pulse Shaping* : penyisipan *cyclic prefix* melinungi terhadap *multipath fading*, *Pulse Shaping* mencegah penambahan spektrum.
- *RFE (Receiver Front-End) / DAC* : mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog untuk di transmisikan.

2. Sisi Penerima

- Menghilangkan *Cyclic Prefix*, mengubah kembali ke domain frekuensi dengan *N-Point DFT*.
- Dilakukan proses *equalization* untuk mengatasi ISI maupun *error*.

- Sinyal *tone discrete* ditransmormasikan menjadi blok simbol *single carrier* dalam domain waktu menggunakan M-Point IDFT.
- Dilakukan deteksi dan *decoding* hingga menjadi aliran bit informasi kembali.

Pada OFDM, setiap data simbol dibawa oleh 1 *subcarrier*, sedangkan pada SC-FDMA beberapa *subcarrier* membawa tiap data simbol.



Gambar 2.16 Perbedaan OFDM dan SC-FDMA

(Sumber : Moray Rumney, 2013)

Dari gambar 2.16 dapat dilihat bahwa pada SC-FDMA setiap data simbol disebar ke banyak *subcarrier* dan ditransmisikan secara berurutan. Selain itu perbedaan mendasar antara OFDM dan SCFDMA adalah adanya proses DFT pada *transmitter* SC-FDMA. oleh karena itu, SC-FDMA sering disebut juga *DFT-spreadOFDM*.

2.8 Kanal *Additive White Gaussian Noise*

Pada kanal transmisi terdapat penambahan *noise* yang timbul karena karena akumulasi *noise termal* dari perangkat pemancar, kanal transmisi dan perangkat penerima. *Noise* berada dalam sinyal pada sisi penerima dapat diperoleh dengan model matematis *statistic* AWGN. *Noise* AWGN merupakan gangguan yang pasti terjadi dalam sistem jaringan *wireless*. Sifat *additive* artinya noise ini dijumlahkan dengan sinyal asli, sifat *white* artinya noise tidak tergantung dari frekuensi operasi

sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, serta sifat *Gaussian* artinya besar tegangan noise memiliki rapat peluang terdistribusi (Bernard, 2001).

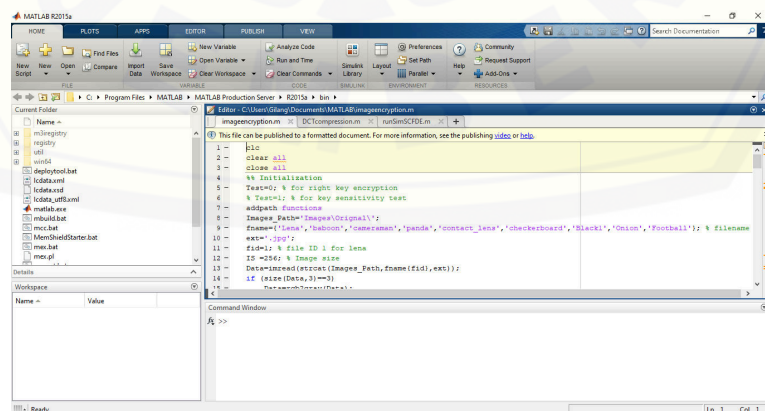
AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem telekomunikasi. Jika sinyal yang dikirim $S_{TX}(t)$, pada kanal akan dipengaruhi *noise* $n(t)$ sehingga sinyal yang diterima menjadi:

$$S_{RX}(t) = S_{TX}(t) + n(t), 0 \leq t \leq T \quad (2.6)$$

2.9 MATLAB

MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory*, yaitu sebuah program yang digunakan untuk menganalisis dan mengkomputasi data bahkan dapat melakukan tugas mengolah sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dan memiliki kemampuan serta fitur dengan *toolbox-toolbox* pemodelan sistem. MATLAB juga menyediakan berbagai fungsi untuk menampilkan data, baik dalam bentuk dua dimensi maupun dalam bentuk tiga dimensi. Fungsi Matlab antara lain.

- Perhitungan matematika
- Komputasi numerik
- Simulasi pemodelan
- Visualisasi dan analisis data serta Pengembangan Aplikasi.



Gambar 2.17 Tampilan GUI Matlab

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Pembahasan pada bab metode penelitian ini menjelaskan beberapa hal pokok yaitu tahapan penelitian, objek penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, langkah-langkah dalam pengambilan data, serta pengolahan data pada penelitian.

3.1.1 Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

Pelaksanaan pembuatan simulasi dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Terapan, Universitas Jember.

b. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan kurang lebih selama 4 bulan, berikut adalah tabel jadwal kegiatan yang akan dilakukan.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

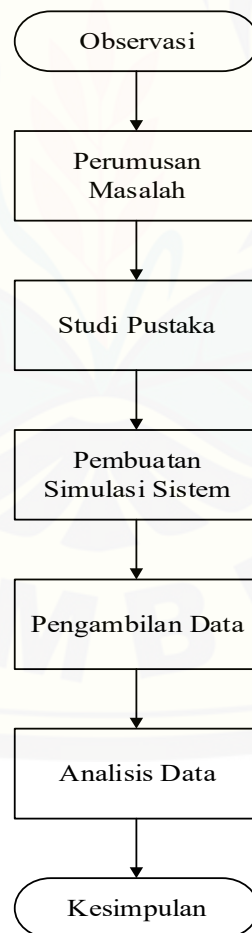
No	Jenis Kegiatan	Bulan			
		1	2	3	4
1	Studi Literatur				
2	Pembuatan Algoritma Simulasi Program Penelitian Serta Validasi Program				
3	Pengambilan Data Penelitian				
4	Analisis Nilai BER dan SNR				
5	Pembuatan Laporan Penelitian				

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan *Personal Computer* dan *software* Matlab 2019a. Penggunaan PC sebagai alat untuk menjalankan perangkat lunak Matlab yang digunakan untuk merancang sistem simulasi sistem untuk penelitian.

3.3 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan dengan melakukan observasi dan menentukan masalah yang akan diteliti. Setelah permasalahan sudah ditentukan maka dilakukan pemodelan sistem. Pemodelan sistem dalam bentuk simulasi program dengan masukan sistem berupa citra,. Citra selanjutnya akan masuk ke proses kompresi dan encoding dengan menggunakan pengkodean kanal BCH *code* dan Reed Solomon *code*. Modulasi sistem menggunakan QPSK, 16-QAM dan 64 QAM yang diterapkan pada sistem SC-FDMA. Kanal yang digunakan AWGN lalu keluaran sistem berupa gambar yang telah di kontruksi serta sudah melewati proses decoding. Apabila sudah dilakukan validasi data, maka tahapan terakhir dengan menganalisa hasil keluaran nilai BER dan SNR. Dapat digambarkan dengan diagram 3.1 berikut.

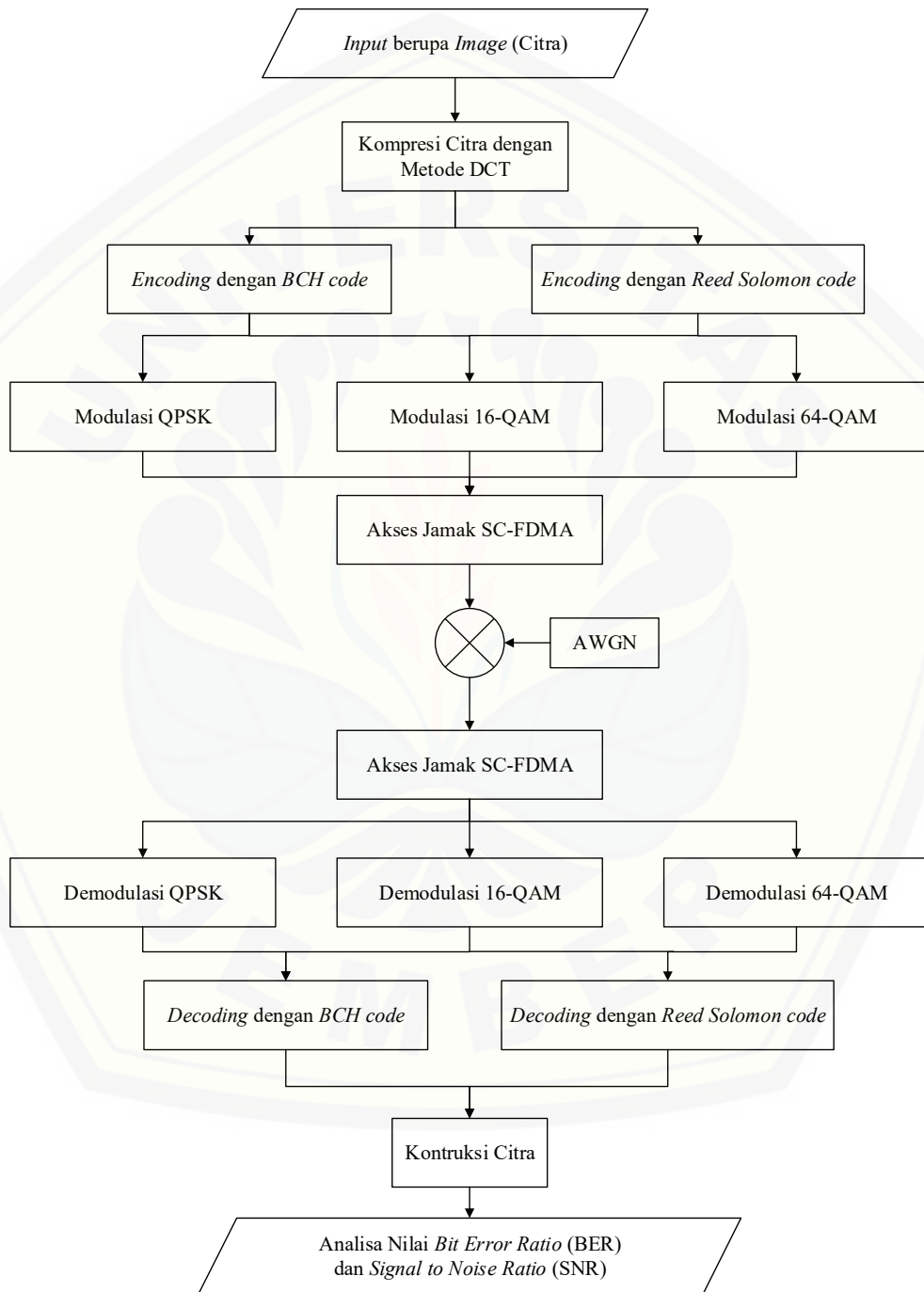


Gambar 3.1 Blok Diagram Tahapan Penelitian

(Sumber : Penulis)

3.4 Rancangan Sistem

Rancangan sistem yang akan dibuat disusun atas diagram blok yang saling berhubungan, dapat digambarkan sebagai berikut berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat seperti pada gambar 3.2 berikut.



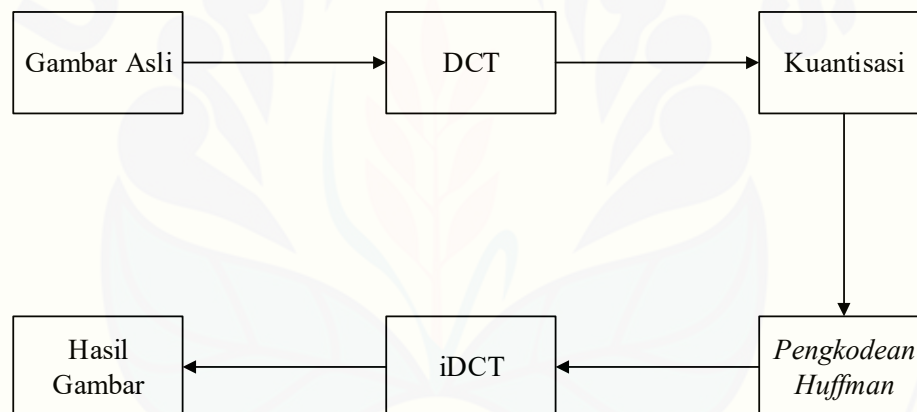
Gambar 3.2 *Flowchart* Rancangan Sistem

(Sumber : Penulis)

3.4.1 Kompresi Citra

Pada sebuah sistem, dibutuhkan tingkat keefisienan yang tinggi supaya sistem tersebut dikatakan baik. Citra biasanya memiliki ukuran yang besar sehingga dalam penyimpanan akan membutuhkan ruang lebih untuk file tersebut. Untuk memaksimalkan kebutuhan akan efisiensi dalam pengiriman data, citra akan melewati proses kompresi sehingga dapat mengurangi ukuran citra. Kompresi citra adalah upaya dalam melakukan transformasi data citra menjadi data yang lain tanpa menimbulkan perubahan signifikan terhadap citra tersebut.

Tujuannya adalah mengurangi ukuran citra sehingga dapat dikirim dengan waktu yang lebih cepat, citra juga dapat diubah menjadi data yang lain sehingga dapat dikirimkan dengan metode SC-FDMA pada penelitian ini, ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.

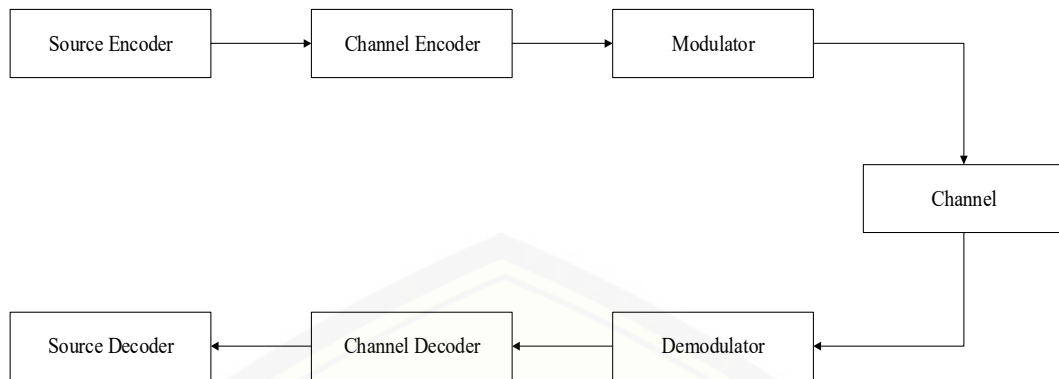


Gambar 3.3 Skema Kompresi Citra

(Sumber :Yuan Jiang, 2010)

3.4.2 Pengkodean Kanal

Pengkodean Kanal (*channel code*) merupakan salah satu teknik untuk meningkatkan performa dari suatu sistem telekomunikasi dengan cara mengubah ulang sinyal yang akan dikirimkan, proses ini berada sebelum proses modulasi. Teknik ini ditujukan supaya sinyal yang dikirimkan tahan terhadap *noise*, *fading* dan *jaming*, ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Diagram Proses Pengkodean kanal

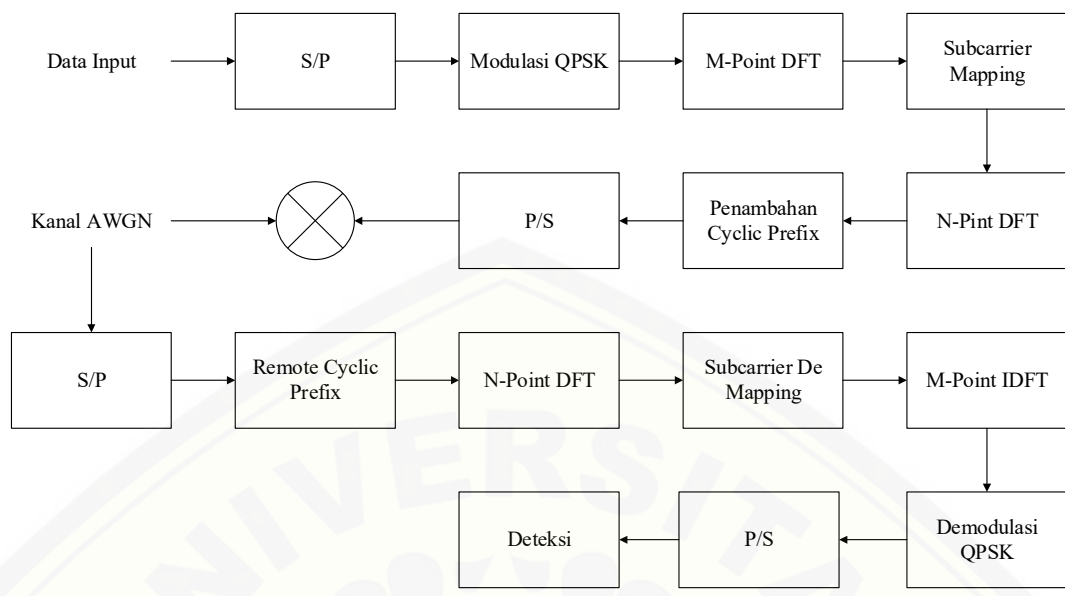
Pengkodean kanal yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) code* untuk mendeteksi kesalahan ganda dan *Reed Solomon code* yaitu pengkodean dengan menambahkan bit *parity* ke dalam data.

3.4.3 Modulasi Sistem

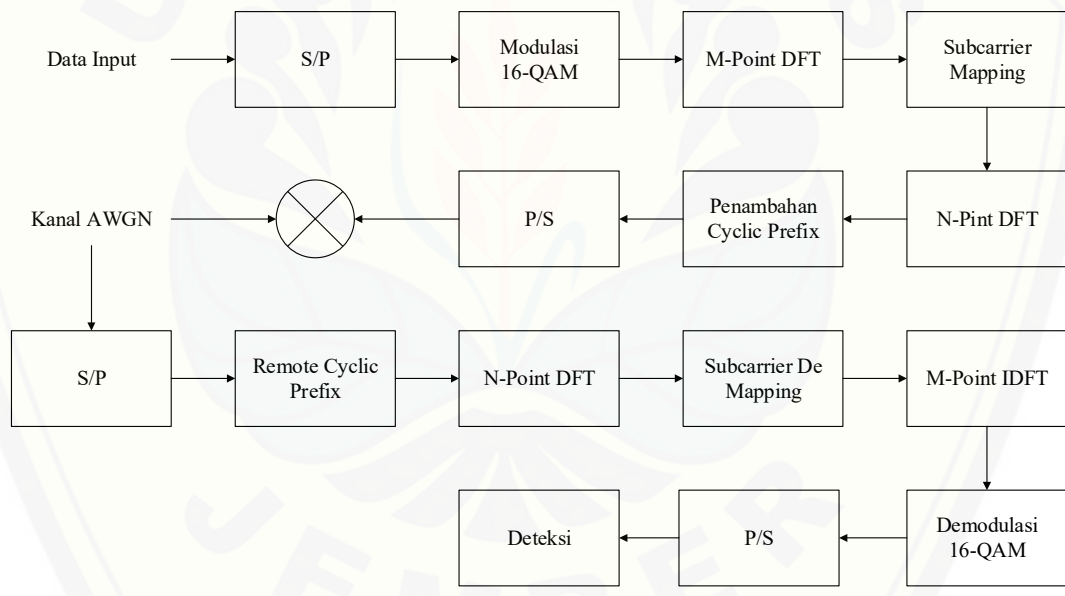
Modulasi merupakan proses perubahan gelombang secara periodik sehingga dapat membawa informasi ke tempat lebih jauh. Proses modulasi terjadi ketika suatu informasi (yang sebagian besar berfrekuensi rendah) ditumpangkan pada sinyal *carrier* (pembawa) yang berfrekuensi tinggi. Parameter utama proses modulasi yaitu frekuensi, amplitude dan fasa.

Peralatan untuk proses modulasi disebut modulator dan demodulator. Tipe data yang dikirimkan dalam proses modulasi dapat berupa data analog dan data digital, dengan demikian proses modulasi dapat dibagi menjadi modulasi analog dan modulasi digital.

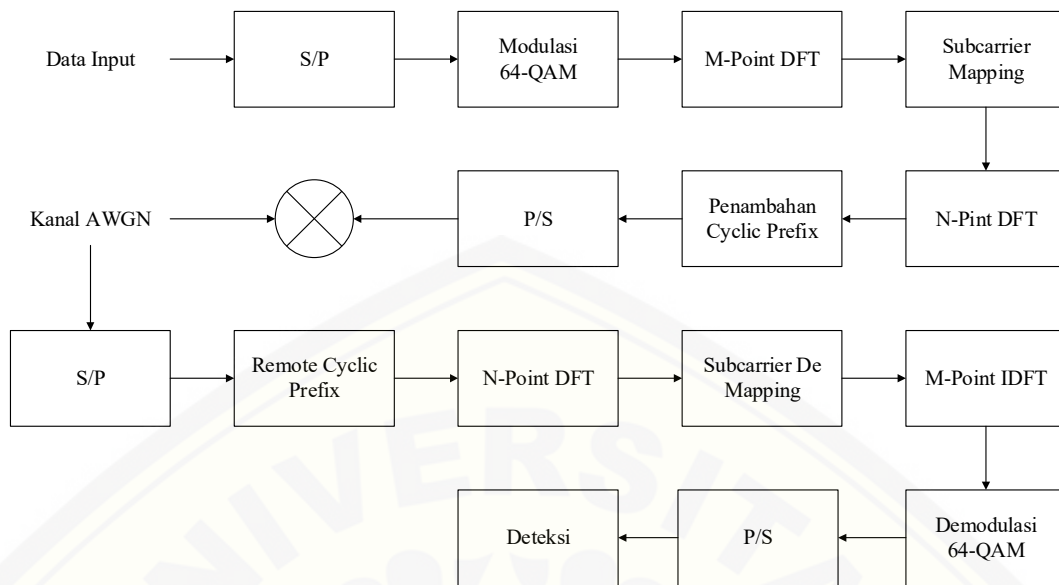
Pada penelitian ini digunakan modulasi digital yaitu *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)* dan modulasi analog yang digunakan adalah *Quadrature Amplitude Modulation* dengan level pengkodean 16-QAM dan 64-QAM. Diagram dari proses modulasi dalam sistem SC-FDMA ditunjukkan pada gambar 3.5, 3.6, dan 3.7 berikut.



Gambar 3.5 Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan QPSK



Gambar 3.6 Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan 16-QAM

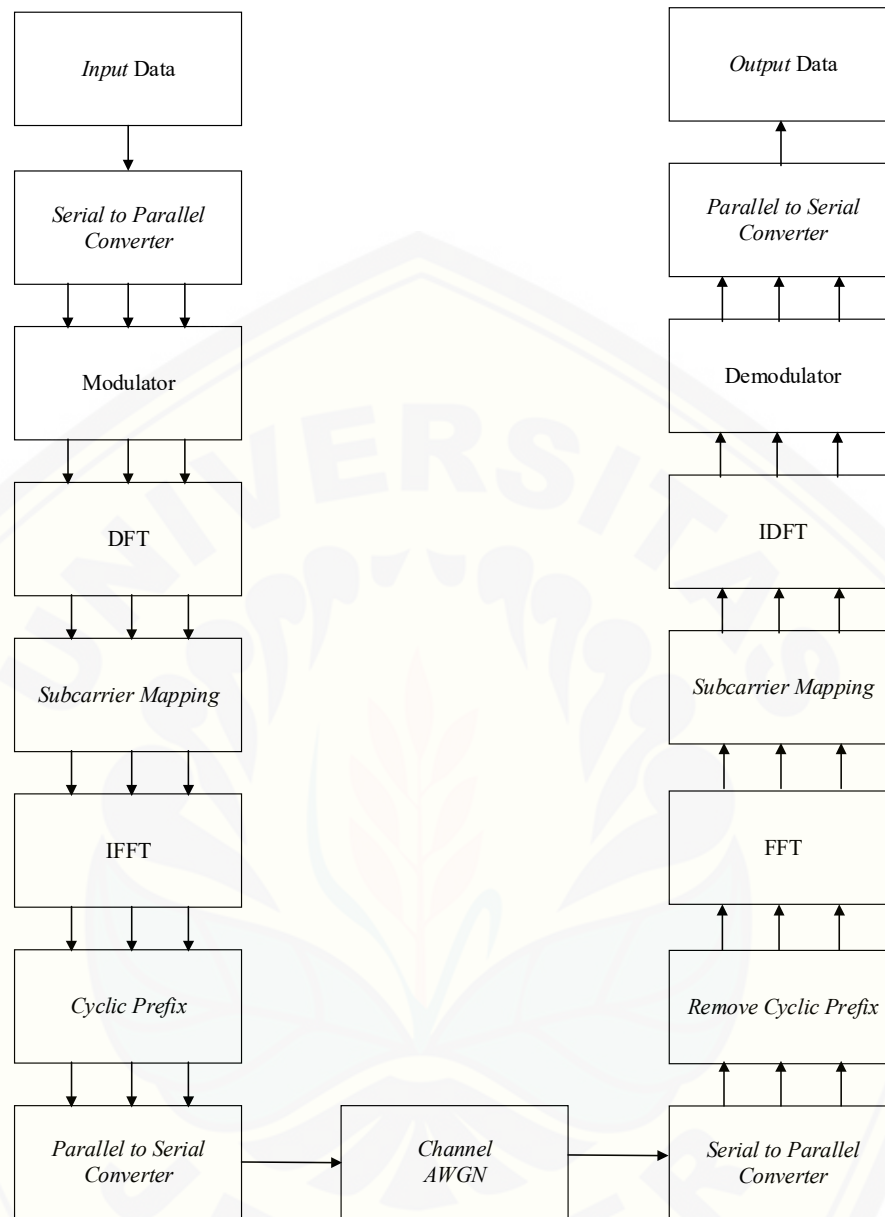


Gambar 3.7 Diagram Sistem SC-FDMA menggunakan 64-QAM

(Sumber :Fitri Amilia, 2016)

3.4.4 Single Carrier-FDMA

Sistem *transmitter* single carrier adalah sistem dimana blok data dikirimkan menggunakan satu carrier dan dimodulasikan dengan simbol *rate* yang tinggi. Akibat *bandwidth* info yang digunakan lebih besar dari *bandwidth* coherent maka kanal akan mengalami frekuensi *selective* fading. Untuk mengatasi frekuensi *selective fading* digunakan teknik equalisasi pada *receiver*.



Gambar 3.8 Diagram Sistem SC-FDMA

(Sumber :V.M. Padmapriya, 2018)

3.4.5 Kanal Propagasi

Kanal propagasi yang digunakan pada penelitian ini adalah kanal AWGN, kanal ini berdistribusi normal dengan nilai rata-rata nol. *Noise* yang dihasilkan dari kanal ini bersifat menambahkan sinyal asli dan bersifat acak. Bentuk persamaan dari *probability density function* (pdf) sebagai berikut.

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-m_x)^2/2\sigma^2} \quad (3.1)$$




Dimana :

- x = variable acak
- m_x = mean
- σ^2 = varians dari variabel random

3.5 Pengambilan Data

Pada penelitian ini, proses pengambilan data dilakukan dengan simulasi pada Matlab. Citra yang digunakan dalam percobaan ini sebanyak 3 citra berbeda, dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Citra yang akan diuji

No	Nama Citra	Nama Citra	Dimensi	Jenis Citra
1		<i>Lenna.jpg</i>	128x128	Berwarna
2		<i>Football.jpg</i>	102x128	Berwarna
3		<i>Cameraman.jpg</i>	128x128	Grayscale

Pengambilan data juga dilakukan dengan beberapa kondisi berbeda. Masukan berupa citra yang nantinya akan diproses melalui 3 percobaan pengkodean kanal, yaitu tanpa pengkodean, dengan *BCH code*, dan *Reed Solomon code*. Lalu pada proses modulasi, dilakukan pengambilan data dengan level konstelasi yang berbeda, yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Pengambilan data dari setiap pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Hasil analisa berupa parameter *Bit Error Rate* (BER) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang nantinya akan dijadikan sebagai hasil penelitian.

3.6 Variabel Pengujian Sistem

Pada tahapan pengujian sistem yang dilakukan oleh peneliti, terdapat 2 parameter sebagai data yang akan diambil nilainya, yaitu sebagai berikut.

3.6.1 *Bit Error Rate* (BER)

Nilai BER merupakan sejumlah bit digital yang yang diterima pada suatu aliran jalur komunikasi yang berubah karena adanya gangguan *noise*. BER diukur dengan membandingkan sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima, dan menghitung jumlah kesalahan dibagi jumlah total bit yang ditransmisikan. Nilai BER dapat dihitung dengan model matematis berikut.

$$BER = \frac{n}{N} \quad (3.2)$$

Dimana :

n=jumlah bit yang salah.

N=jumlah bit yang dikirimkan.

Standar nilai Bit Error Rate yang terdapat pada sistem komunikasi SC-FDMA adalah 10^{-3} (Shaikh, 2010).

3.6.2 *Signal to Noise Ratio* (SNR) (dB)

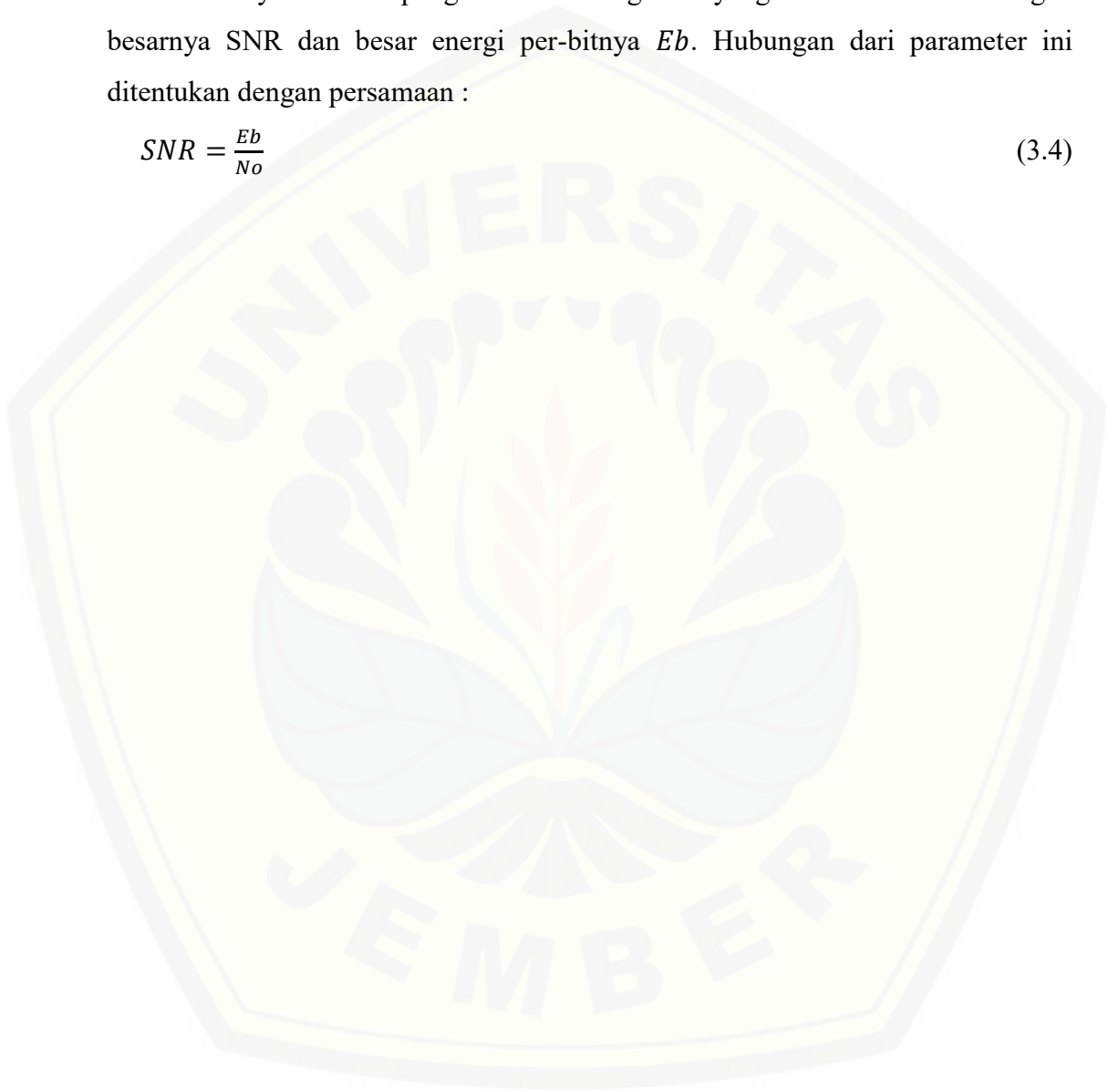
SNR adalah suatu ukuran untuk menentukan kualitas dari suatu sinyal yang terganggu oleh derau. Derau dalam pengujian ini dimodelkan sebagai sinyal random dengan distribusi normal (*Gaussian*). SNR juga merupakan hasil normalisasi dari E_b/N_0 (*energy per bit to noise power spectral density ratio*), semakin besar nilai SNR maka semakin baik kualitas sinyal tersebut. Noise yang

dibangkitkan pada sistem ini berdistribusi normal dengan *mean* μ adalah nol dan varian σ^2 sebesar $N_0/2$.

$$n_k(t) \sim N\left(0, \frac{N_0}{2}\right) \quad (3.3)$$

Besarnya varian dipengaruhi oleh harga N_0 yang bervariasi sesuai dengan besarnya SNR dan besar energi per-bitnya E_b . Hubungan dari parameter ini ditentukan dengan persamaan :

$$SNR = \frac{E_b}{N_0} \quad (3.4)$$



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa dari laporan skripsi ini, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil analisa kinerja jenis modulasi yang digunakan pada sistem LTE sesuai dengan 3GPP release 8 yaitu menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM, performa modulasi paling baik ditunjukkan oleh modulasi 16-QAM. Pada modulasi 16-QAM, untuk mencapai standar komunikasi yang memenuhi BER sebesar 10^{-3} dibutuhkan parameter SNR sebesar 6 dB. Parameter SNR tersebut lebih kecil dibandingkan modulasi QPSK dan 64-QAM yang membutuhkan parameter SNR sebesar 7 dB untuk memenuhi standar parameter BER.
2. Pada analisa performa perbandingan sistem SC-FDMA konvensional dibanding sistem SC-FDMA yang menggunakan BCH *code* serta SC-FDMA yang menggunakan *Reed Solomon code*, didapatkan performa dari 3 sistem tersebut hampir setara, dapat dilihat pada tabel 4.8 dengan *sample* citra *lenna.jpg* sebagai objek transmisi. Rata-rata parameter SNR yang dibutuhkan untuk mencapai parameter BER standar adalah 7 dB pada modulasi QPSK.
3. Dari hasil pengujian parameter SNR terhadap *Bit Error Rate* (BER), dapat diketahui bahwa untuk mencapai standar komunikasi yang baik diperlukan SNR sebesar 7 dB hingga 16 dB pada semua teknik modulasi.
4. Pada pengujian sistem dengan spesifikasi pengodean kanal yang dilakukan pada penelitian ini tidak menghasilkan peningkatan nilai BER yang signifikan yang dapat dilihat pada gambar 4.11 hingga 4.13 sehingga hanya meningkatkan waktu komputasi saat menjalankan simulasi, hal ini dikarenakan program dengan pengkodean kanal memiliki proses yang lebih kompleks dibanding tanpa menggunakan pengkodean kanal yang dapat dilihat pada tabel 4.9.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk dikembangkan dan menyempurnakan penelitian ini antara lain :

1. Membandingkan hasil sistem pada penelitian ini dengan sistem OFDMA.
2. Membandingkan performa dengan menggunakan jenis *channel code* yang berbeda untuk mengetahui performa terbaik untuk mencapai BER yang memenuhi standar.
3. Proses pengujian dapat menggunakan kanal propogasi lain seperti *Rayleigh Fading*.
4. Penggunaan parameter perlu diperhatikan untuk memaksimalkan kinerja sistem.
5. Penggunaan objek lain selain citra, seperti audio maupun video.
6. Penambahan output sebagai hasil analisa, seperti parameter PAPR.

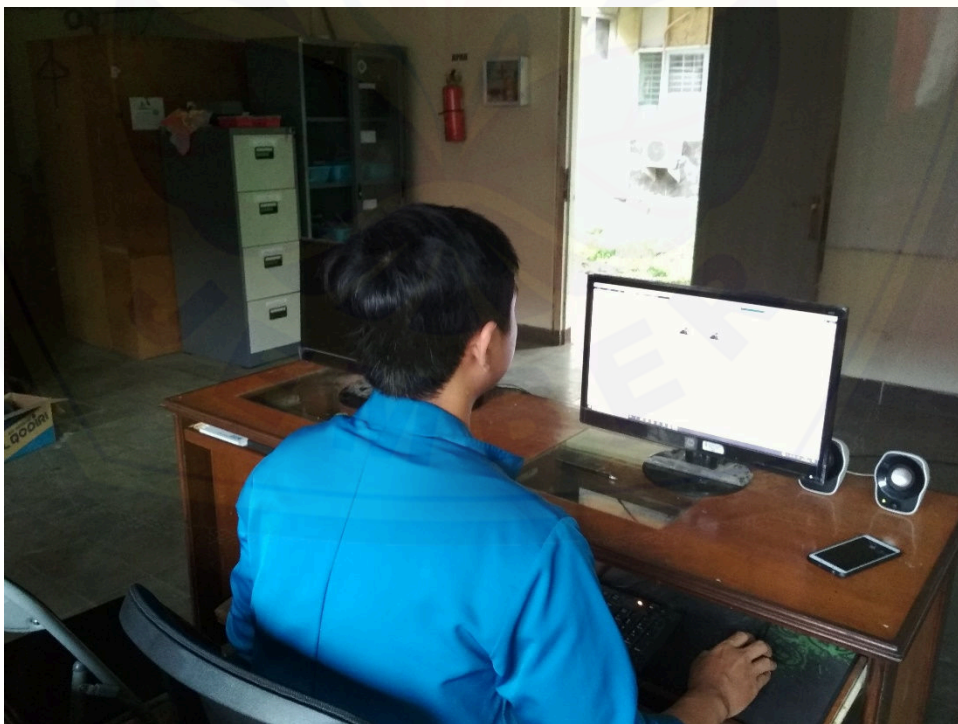
DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Baharuddin. Analisa Kinerja Pengkodean Kanal Type *Reed Solomon Coding* pada Kualitas Transmisi Citra. *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 7.1 (2018): 45-52.
- Amillia, Fitri. 2016. Analisis Kinerja Jenis Modulasi Pada Sistem SC-FDMA. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. Vol 14: 52-56.
- Chaari, Lamia, et al. *Image transmission quality analysis over adaptive BCH coding*. *WSEAS Transactions on Communications* 7.6 (2008): 584-593.
- Chaari, Lamia, Mohamed Fourati, and Lotfi Kamoun. *Image transmission quality analysis over adaptive Reed-Solomon coding*. *Melecon 2010-2010 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. IEEE, 2010.
- Chen, J., Reed, M. A., Rawlett, A. M., & Tour, J. M. (1999). *Large on-off ratios and negative differential resistance in a molecular electronic device*. *science*, 286(5444), 1550-1552.
- Freeman, Roger L. *Fundamentals of telecommunications*. John Wiley & Sons, 1999.
- H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman. 2006. *Single Carrier Fdma For Uplink Wireless Transmission*. vol. 1, no. 3, sept. *IEEE Vehicular Technology Mag.*
- Isnawati, Anggun Fitriani, Wahyu Pamungkas, dan Annisa Fitri Prabawati. "Simulasi Modulasi Berbasis PSK Dan QAM Pada Kanal *Rayleigh Fading* Menggunakan Matlab. 2013"
- Jiang, Yuan. *A Practical Guide To Error-Control Coding Using MATLAB*. Artech House, 2010.
- Joko, Galih H. 2011. Analisa Performansi Teknik *Channel Coding* Dan *Decoding* Menggunakan *Convolutional Code* Dan Algoritma Viterbi. UIN SUSKA RIAU.
- Kapoor, Monika. "Performance Analysis of Reed Solomon Code for various Modulation Schemes over AWGN Channel." *International Journal of Applied Engineering Research* 12.17 (2017): 6391-6398.
- Myung, Hyung G and David J. Goodman. 2008. *Single-Carrier Fdma : A New Air Interface For Long Term Evolution*. 1st Edition. Wiley Series On Wireless Communication And Mobile Computing.

- Padmapriya V. M. *Image Transmission in 4G LTE Using DWT Based SC-FDMA System*. Biomed Pharmacol J 2018;11(3).
- Proakis, John.G., *Digital Communication*, McGraw-Hill: New York, 1995.
- Rappaport, Theodore S., *Wireless Communication*, Prentice Hall, New York, 1996.
- Rumney, Moray, ed. *LTE and the evolution to 4G wireless: Design and measurement challenges*. John Wiley & Sons, 2013.
- S. M. Kuo, B. H. Lee, and W. Tian, *Real Time Signal Processing: Fundamental, Implementation and Application*, 3rd Ed., Wiley, West Sussex: 2013
- Sarnin, Suzi Seroja, Nani Fadzlina Nairn, and Wan Nor Syafizan W. Muhamad. *Performance evaluation of phase shift keying modulation technique using BCH code, Cyclic code and Hamming code through AWGN channel model in communication system*. The 3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences. IEEE, 2010.
- Setiawan, Eko Fuji. *Simulasi Kode Hamming, Kode Bch, Dan Kode Reed-Solomon Untuk Optimalisasi Forward Error Correction*. Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014.
- Shaikh, Abdul Samad and Khatri Chandan Kumar. 2010. *Performance Evaluation of LTE.Physycal layer using SCFDMA dan OFDMA*. Thesis is presented as part of Degree of Master of Science in Electrical Engineering, Blekinge Institute of Technology.
- Sklar, Bernard. *Digital communications*. Vol. 2. Upper Saddle River, NJ, USA:: Prentice hall, 2001.
- Sklar, Bernard. 1997. *Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems*. IEEE Communication Magazine, Juli 1997.
- Sunarto, Wahyu Eko. "Reduksi PAPR dan peningkatan performansi BER pada sistem OFDM menggunakan teknik *hybrid DCT-wavelet trsansform dan companding law transform*= PAPR reduction and BER performance improvement in OFDM system using hybrid technique *DCT-Wavelet Transform and Companding μ -Law Transform*." (2011).
- Sutarto, Mohammad, Suwadi Suwadi, and Titiek Suryani. "Implementasi *Encoder dan Decoder BCH Menggunakan DSK TMS320C6416T*." Jurnal Teknik ITS 3.1 (2014): A29-A34.

LAMPIRAN

A. Dokumentasi



B. Listing Program1. Program Tanpa *channel code*

```

clear
close all
clc

%JPEG Compression (www.Mathworks.com);
[nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
I=imread([folder,nama]);
%I=imread('Apel.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;

%Modulation System in Matlab (www.Mathworks.com);
% QPSK
QPSKmod=comm.QPSKModulator('BitInput',true);
QPSKdem=comm.QPSKDemodulator('BitOutput',true);

% Other Parameter
%Plotting BER SER in SCFDMA com System(www.Mathworks.com);
%SNR=-2:12;
SNRn=-2:12;

[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;
                BlokxBxB=Im(m1:m2,n1:n2,l);

                % ## DCT ##
                % DCx
                f=double(BlokxBxB);
                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
            end
        end
    end
end

```

```

        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(1,LL*R);
    for u=0:(R-1)
        Par2Ser(1+u*LL:(1+u)*LL)=outputIFFT(:,u+1);
    end
    TxSgn=Par2Ser;

    % ### AWGN ###
    sigma = sqrt(10^(-SNRn(nnn)/10.0));
    sigma=sigma/2;
    noise =randn(size(TxSgn))+1i*randn(size(TxSgn));%
awgn 0 variance
    snqpsk = TxSgn + sigma.*noise;

    % ## Serial to parallel converter
    input_rx_FFT=zeros(LL,R);
    for ir=1:R
        input_rx_FFT(1:LL,ir)=snqpsk((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_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'])
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))
end
close(wb1)
figure('name','SNR vs BER');
plot(SNRn,BER,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('BER')
grid on

```

2. Program BCH code

```

clear
close all
clc

[nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
I=imread([folder,nama]);
%I=imread('Apel.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=-2:12;

[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:n2,1);

                % ## 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);
    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

    % ## BCH Code
    hEnc = comm.BCHEncoder;
    hDec = comm.BCHDecoder;
    Lhcode=length(hcode);
    lhb=mod(Lhcode,15);
    if lhb>0
        hcode(1,Lhcode+1:Lhcode+(15-lhb))=0;
    end
    data=hcode';
    encodedData = step(hEnc, data);

    Lsig=length(encodedData);
    Nbitsig = 2^nextpow2(Lsig);
    if Nbitsig>Lsig
        b=zeros(1,Nbitsig);
        aa=floor((Nbitsig-Lsig)/2);
        b(1,aa:aa+Lsig-1)=encodedData';
    else
        aa=[];
        b=encodedData';
    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/4)/n_streams);
bpar=ser2par(b,n_columns);

% ## QAM16 Modulation
inputFFT=zeros(n_streams,n_columns);
for ii=1:n_columns
    qam16=step(QAM16mod,bpar(:,ii));
    inputFFT(:,ii)=qam16;
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(1,LL*R);
for u=0:(R-1)
    Par2Ser(1+u*LL:(1+u)*LL)=outputIFFT(:,u+1);
end
TxSgn=Par2Ser;

% ### AWGN ###
sigma = sqrt(10^(-SNRn(nnn)/10.0));
sigma=sigma/2;
noise =randn(size(TxSgn))+1i*randn(size(TxSgn));%
awgn 0 variance
snqpsk = TxSgn + sigma.*noise;

```

```

% ## Serial to parallel converter
input_rx_FFT=zeros(LL,R);
for ir=1:R
    input_rx_FFT(1:LL,ir)=snqpsk((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);

% ## QAM16 Demodulate
output_rx_ifft_dem=zeros(n_streams*4,n_columns);
for ii=1:n_columns
    qam16dem=step(QAM16dem,output_rx_ifft(:,ii));
    output_rx_ifft_dem(:,ii)=qam16dem;
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);

% ## BCH Decode
receivedBits = step(hDec, RXdata');
receivedBits=receivedBits';
receivedBits=receivedBits(1,1:Lhcode);;

% ## Huffman Decode ##
dhsig=huffmandeco(receivedBits,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_ycbcr(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'])
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))
end
close(wb1)
figure('name','SNR vs BER');
plot(SNRn,BER,'-o');
xlabel('SNR');
ylabel('BER')
grid on

```

3. Program Reed Solomon code

```

clear
close all
clc

[nama, folder]=uigetfile({'*.jpg;*.bmp;*.tif'});
I=imread([folder,nama]);
%I=imread('Apel.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=-2:12;

[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:n2,1);

                % ## 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
            end
        end
    end
end
end
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

% ## Reed Solomon Code
N = 7;           % RS codeword length
K = 5;           % RS message length
rsEncoder =
comm.RSEncoder('BitInput',true,'CodewordLength',N,'MessageLength',
K);
rsDecoder =
comm.RSDecoder('BitInput',true,'CodewordLength',N,'MessageLength',
K);

Lhcode=length(hcode);
lhb=mod(Lhcode,15);
if lhb>0
    hcode(1,Lhcode+1:Lhcode+(15-lhb))=0;
end
data=hcode';
encodedData = step(rsEncoder, data);

Lsig=length(encodedData);
Nbitsig = 2^nextpow2(Lsig);
%Nbitsig=2*64^2;
if Nbitsig>Lsig
    b=zeros(1,Nbitsig);
    aa=floor((Nbitsig-Lsig)/2);
    b(1,aa:aa+Lsig-1)=encodedData';
else
    aa=[];
    b=encodedData';
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(1,LL*R);
for u=0:(R-1)
    Par2Ser(1+u*LL:(1+u)*LL)=outputIFFT(:,u+1);
end
TxSgn=Par2Ser;

% ### AWGN ###
sigma = sqrt(10^(-SNRn(nnn)/10.0));
sigma=sigma/2;
noise =randn(size(TxSgn))+1i*randn(size(TxSgn));%
awgn 0 variance
snqpsk = TxSgn + sigma.*noise;

% ## Serial to parallel converter
input_rx_FFT=zeros(LL,R);
for ir=1:R
    input_rx_FFT(1:LL,ir)=snqpsk((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);

% ## Reed Solomon Decode
receivedBits = zeros(8*8);
try
    receivedBits = step(rsDecoder, RXdata');
    receivedBits=receivedBits';
    receivedBits=receivedBits(1,1:Lhcode);
catch ME
end

% ## Huffman Decode ##
dhsig = zeros(8*8);
try
    dhsig=huffmandeco(receivedBits,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
    end
end

```



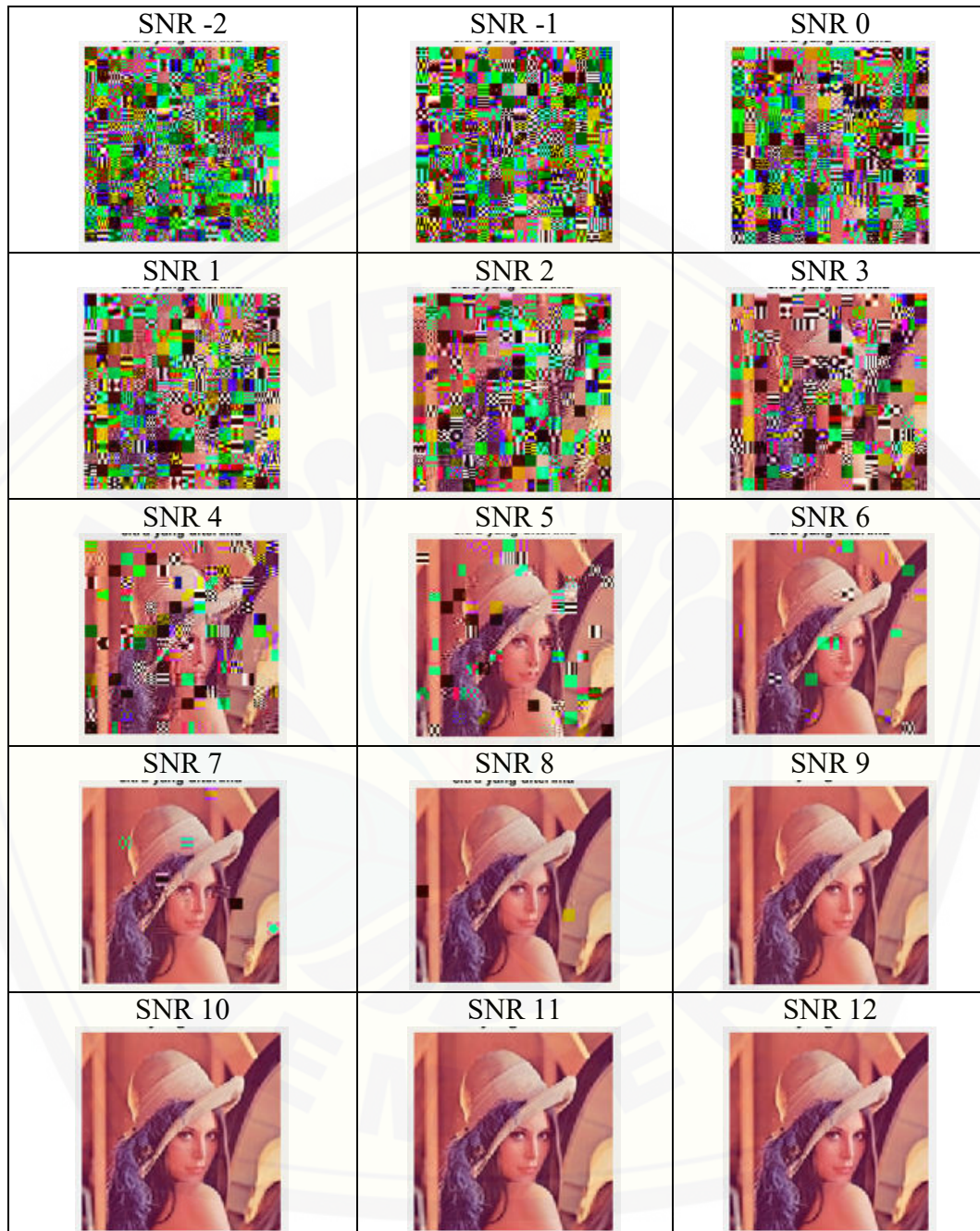
```

                                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);
                                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);

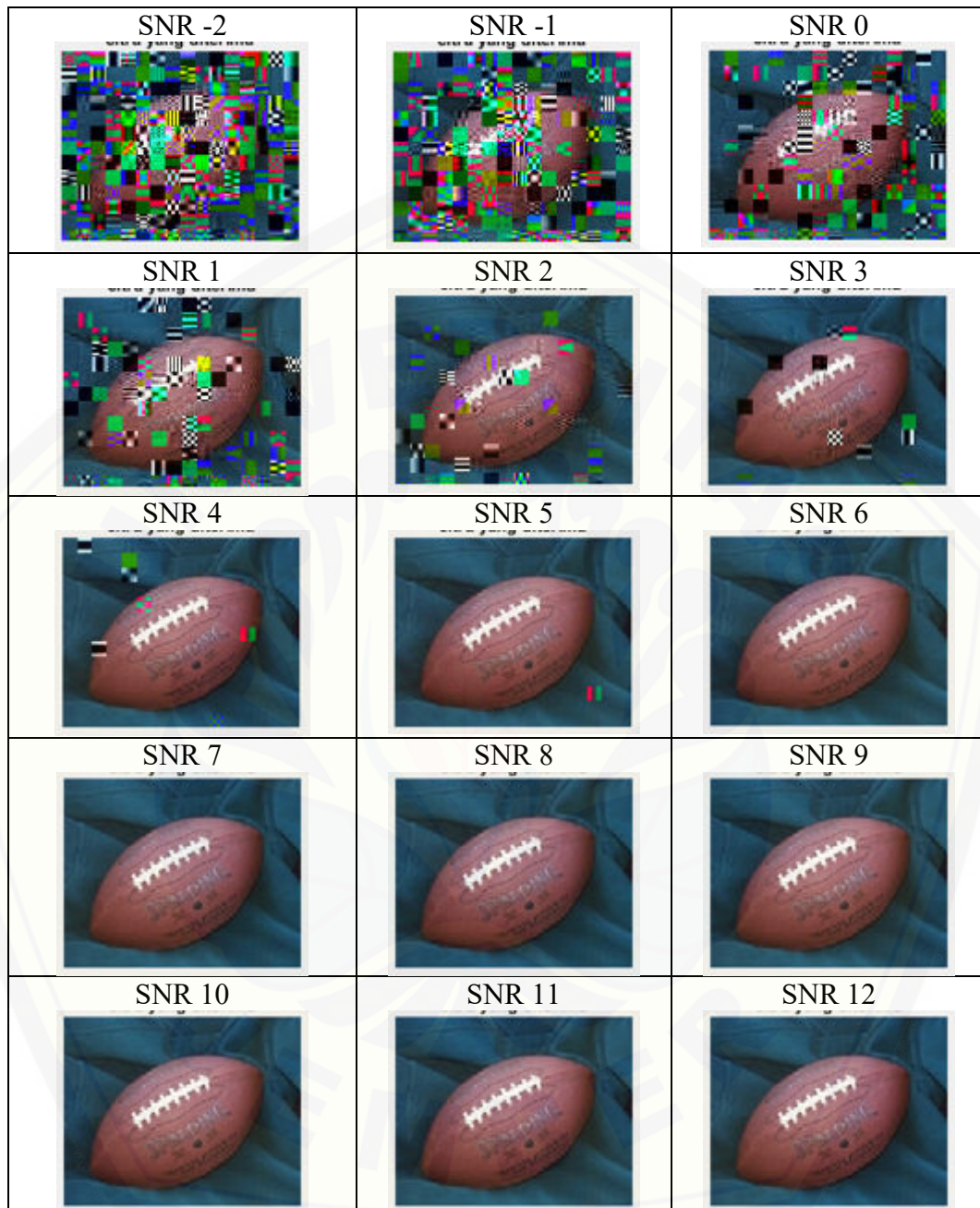
                                SNR=snr([double(I(:,:,1)),double(I(:,:,2)),double(I(:,:,3))],...
                                    [double(Imreceived(:,:,1)),...
                                    double(Imreceived(:,:,2)),double(Imreceived(:,:,3))]);
                                SNRrec(1,nnn)=SNR;

                                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))
                                end
                                close(wb1)
                                figure('name','SNR vs BER');
                                plot(SNRn,BER,'-o');
                                xlabel('SNR');
                                ylabel('BER')
                                grid on

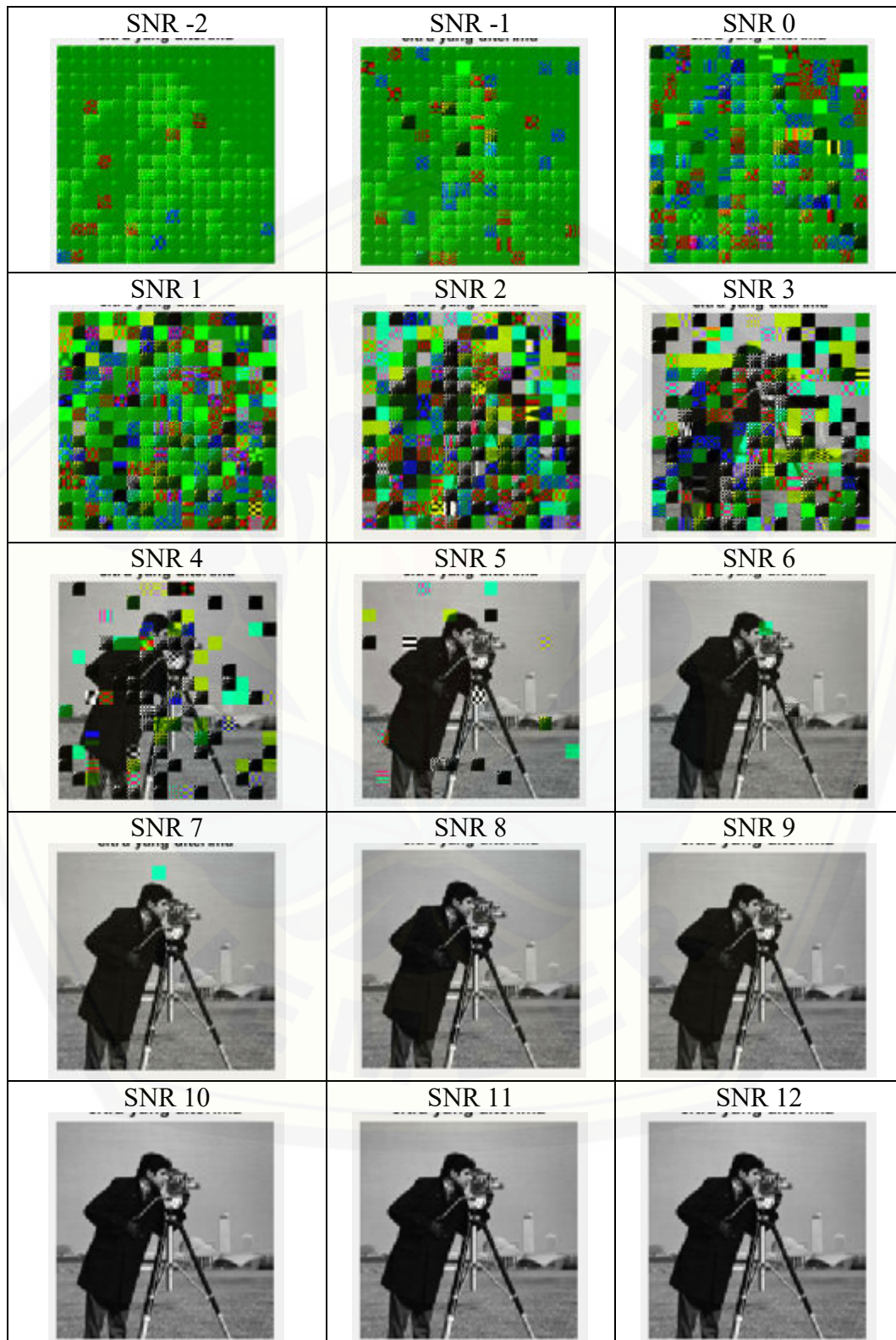
```

C. Data Citra yang Telah Diuji pada Sisi Penerima**1. QPSK**

2. 16-QAM



3. 64-QAM



D. Data Hasil BER terhadap SNR

1. QPSK

No	SNR	Nilai BER
1	-2	0,13135
2	-1	0,10360
3	0	0,07887
4	1	0,05595
5	2	0,03824
6	3	0,02361
7	4	0,01214
8	5	0,00551
9	6	0,00235
10	7	0,00079
11	8	0,00017
12	9	0,00002
13	10	0
14	11	0
15	12	0

2. 16-QAM

No	SNR	Nilai BER
1	-2	0,03251
2	-1	0,02232
3	0	0,01318
4	1	0,00714
5	2	0,00326
6	3	0,00133
7	4	0,00033
8	5	0,00013
9	6	0,00004
10	7	0
11	8	0
12	9	0
13	10	0
14	11	0
15	12	0

3. 64-QAM

No	SNR	Nilai BER
1	-2	0,12066
2	-1	0,07892
3	0	0,04831
4	1	0,02642
5	2	0,01293
6	3	0,00569
7	4	0,00177
8	5	0,00032
9	6	0,00004
10	7	0,00001
11	8	0
12	9	0
13	10	0
14	11	0
15	12	0