

**Perancangan *Automatic Gain Control* pada Modem *Orthogonal Frequency  
Division Multiplexing (OFDM)* dalam rentang Frekuensi Audio**

**TESIS**

Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister Sains  
Institut Teknologi Bandung

Oleh

**Rifki Muhendra**

**NIM : 20211034**

**Program Studi Magister Fisika**



Institut Teknologi Bandung

2013

**Perancangan *Automatic Gain Control* pada Modem *Orthogonal Frequency  
Division Multiplexing* (OFDM) dalam rentang Frekuensi Audio**

Tesis

Oleh

**Rifki Muhendra  
20211034**



**Magister Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Bandung  
2013**

*Perancangan Automatic Gain Control pada Modem Orthogonal Frequency  
Division Multiplexing (OFDM) dalam rentang Frekuensi Audio*

Oleh

**Rifki Muhendra**

**NIM : 20211034**

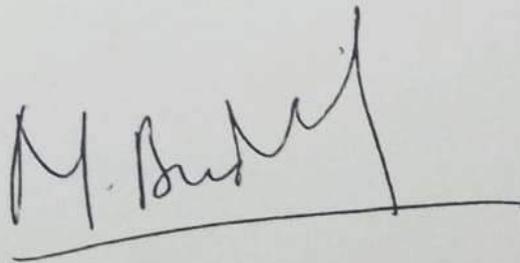
**Program Studi Magister Fisika**

**Institut Teknologi Bandung**

Menyetujui

Pembimbing

Tanggal 11 Juni 2013



**Dr. Eng. Maman Budiman**

**NIP : 196609251991031002**

**Perancangan *Automatic Gain Control* pada Modem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dalam rentang Frekuensi Audio**

**Abstrak**

Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) merupakan metode modulasi digital di mana sebuah sinyal dibagi menjadi beberapa saluran subcarrier pada frekuensi yang berbeda. Teknologi ini cocok untuk televisi digital, dan sedang dipertimbangkan sebagai metode untuk mendapatkan kecepatan tinggi transmisi data digital melalui saluran telepon konvensional. Pada penelitian ini sistem ini akan diaplikasikan untuk mengirimkan suara secara *real time*. Salah satu permasalahan dalam pengembangan sistem OFDM ialah masalah peningkatan data rate OFDM dengan menggunakan *Mapping* 64 QAM dan penambahan *Automatic Gain Control* (AGC) untuk memperbaiki performa sinyal pada *receiver*. Dengan peningkatan *Mapping* pada sistem diharapkan jumlah sinyal yang dioperasikan menjadi lebih besar mencapai 8 kpps. Berdasarkan hasil simulasi dan implementasi *Automatic Gain Control* pada modem OFDM dalam jangkauan frekuensi audio dapat disimpulkan *Automatic Gain Control* dapat mengatasi fluktuasi sinyal suara yang diterima setelah melewati kanal terutama dalam penggunaan modulasi yang cukup besar seperti 64 QAM. Hasil simulasi menunjukkan kemampuan *Automatic Gain Control* dengan metode ini mampu secara efektif memperbaiki performa suara pada walaupun dari sisi jumlah bit error masih menunjukkan hasil yang kurang baik terhadap variasi frekuensi offset, panjang FFT dan variasi frekuensi sampling.

**Kata kunci** : *Automatic Gain Control*, OFDM, *mapping*, FFT

## **Design of Automatic Gain Control in Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Modem in the Audio frequency**

### **Abstract**

Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) is a method of digital modulation in which a signal is split into multiple subcarrier channels at different frequencies. This technology is suitable for digital television, and is being considered as a method to obtain high-speed digital data transmission over conventional telephone lines. In this study, the system will be applied to transmit voice in real time. One of the problems in the development of OFDM system is the problem of an increase in data rate by using the Mapping OFDM 64 QAM and the addition of Automatic Gain Control (AGC) to improve the performance of the signal at the receiver. By mapping the system is expected to increase the number of signals operated to be 8 kbps. Based on the results of the simulation and implementation of Automatic Gain Control in OFDM modem in the audio frequency range can be inferred Automatic Gain Control can overcome fluctuations in the received voice signal after passing through the canal, especially in the use of substantial modulation such as 64 QAM. Simulation results show the ability of Automatic Gain Control with this method can effectively improve the performance even of sound on the number of bit errors still show unfavorable results to variations in the frequency offset, the length of FFT and sampling frequency variation.

**Keywords:** Automatic Gain Control, OFDM, mapping, FFT

# Bab I. Pendahuluan

## 1.1 Latar Belakang

Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) merupakan metode modulasi digital di mana sebuah sinyal dibagi menjadi beberapa saluran subcarrier pada frekuensi yang berbeda. Teknologi ini pertama kali disusun pada tahun 1960. Dalam beberapa hal, OFDM mirip dengan konvensional frekuensi-division multiplexing (FDM). Perbedaannya terletak pada cara di mana sinyal yang dimodulasi dan didemodulasi. Prioritas diberikan untuk meminimalkan gangguan, atau crosstalk, di antara saluran dan simbol yang terdiri dari aliran data. Tak kalah pentingnya penyempurnaan saluran ofdm itu sendiri.

OFDM digunakan di Eropa layanan siaran audio digital. Teknologi ini cocok untuk televisi digital, dan sedang dipertimbangkan sebagai metode untuk mendapatkan kecepatan tinggi transmisi data digital melalui saluran telepon konvensional. Hal ini juga digunakan dalam jaringan area lokal nirkabel. Teknologi OFDM digunakan dalam varian tertentu Wi-Fi (802.11a, 802.11n, MIMO), WiMax (802.16) dan WiBro, ADSL, serta sejumlah teknologi penyiaran digital seperti DAB dan DVB-T. OFDM berjanji untuk memainkan peran penting dalam 4G (generasi keempat) standar seluler juga.

Melihat kelebihan yang dimiliki teknik OFDM ini, maka penulis tertarik untuk mengembangkan sistem OFDM ini pada jangkauan frekuensi audio ( $bandwidth < 3$  kHz). Dengan memanfaatkan frekuensi audio sebagai *carrier* maka sistem ini dapat digunakan sebagai modem universal yang dapat disambungkan pada berbagai alat komunikasi yang telah ada seperti telepon kabel, telepon *cellular*, radio komunikasi dsb. Modem ini dapat digunakan untuk mengirim suara, gambar, teks maupun data file. Pada penelitian ini sistem ini akan diaplikasikan untuk mengirimkan suara secara *real time*. Salah satu permasalahan dalam pengembangan sistem OFDM ialah masalah peningkatan data rate OFDM dengan menggunakan *Mapping* 64 QAM dan penambahan *Automatic Gain Control* (AGC) untuk memperbaiki performa sinyal pada *receiver*. Dengan peningkatan *Mapping* pada sistem diharapkan jumlah sinyal yang dioperasikan menjadi lebih besar mencapai 8 kpps. Pada penelitian ini diharapkan dapat

meningkatkan kualitas system OFDM yang pernah dirancang sebelumnya oleh Rianto (2009).

Modem OFDM akan disimulasikan dengan menggunakan *software* Simulink pada MATLAB 2010a dan selanjutnya diimplementasikan pada OMAP L-137 TMS320C6747 Texas Instrument.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang modem OFDM yang dapat bekerja pada frekuensi audio dengan peningkatan Mapping 64 QAM dan merancang teknik *Automatic Gain Control (AGC)* untuk mengatasi penurunan kualitas sinyal pada OFDM
2. Bagaimana mengimplementasikan desain modem OFDM pada OMAP L-137 TMS320C6747 Texas Instrument.

## 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang modem OFDM pada rentang frekuensi audio dan merancang *Automatic Gain Control* pada bagian penerima. Sistem ini dimodelkan dan disimulasikan dengan menggunakan *software* Simulink pada MATLAB 2010a.

Target rancangan yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

- Spektrum frekuensi keluaran dari transmitter berada dalam jangkauan frekuensi audio yaitu tidak lebih dari 3 kHz
- Sistem dapat berjalan secara *real-time* pada dua board (OMAP L-137 TMS320C6747) yang terpisah dengan inputan berupa suara.

## 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi masalah penelitian pada perancangan dan implementasi *Automatic Gain Control* pada sistem OFDM untuk jangkauan frekuensi audio dengan menggunakan OMAP L-137 TMS320C6747.

Beberapa pembatasan masalah dalam perancangan modem OFDM ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi kanal berupa noise AWGN, delay, frekuensi offset dan tanpa mengalami *multipath fading*.
2. Input berupa sinyal suara yang disampling pada 8 kHz, 16kHz dan 32 kHz dengan ukuran sampling 16 bit.
3. Kompresi suara yang digunakan adalah CVSD (*Continuously Variable Slope Delta*) dengan *bitrate* output 4 kb/s dan 8kb/s.
4. Pada pengujian sistem secara *real-time*, board pemancar dan penerima dihubungkan melalui kabel audio.

### 1.5 Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan terbagi menjadi dua bagian pokok yaitu simulasi dan implementasi sistem. Pada tahap simulasi dilakukan perancangan *transmitter* dan *receiver* OFDM. *Transmitter* dirancang agar *bandwidth* yang dihasilkan berada pada jangkauan frekuensi audio yaitu  $< 3$  kHz dengan input berupa suara dan *data rate* yang mencukupi untuk sistem *real time*. *Receiver* dirancang agar dapat mengembalikan data suara dengan benar walaupun mengalami delay, gangguan noise, dan pergeseran frekuensi *carrier*. Oleh karena itu, pada *receiver* ditambahkan bagian *automatic gains control*. Analisa performa *automatic gains control* yang telah dirancang didasarkan pada jumlah bit error dengan mensimulasikan kanal yang berupa noise dan pergeseran frekuensi *carrier*. Performa dari *automatic gains control* akan dianalisa dengan memvariasikan panjang FFT dan frekuensi sampling. Simulasi akan dilakukan dengan menggunakan Simulink pada MATLAB 2010a.

Setelah melakukan simulasi langkah berikutnya adalah implementasi pada board OMAP L-137 TMS320C6747. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap implementasi yaitu optimasi program dan *downloading* program ke board OMAP L-137 dengan bantuan program CCS (Code Composer Studio) versi 3.3. Selanjutnya sistem diuji untuk mengetes apakah program dapat berjalan dengan baik pada board OMAP L-137 TMS320C6747 baik pada sisi *transmitter* maupun *receiver*. Pada pengujian dilakukan proses perekaman suara output *receiver* untuk

membandingkan kualitas suara yang dihasilkan. Secara umum program alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan hasil penelitian akan disajikan dengan sistematika sebagai berikut:

### **Bab I : Pendahuluan**

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang masalah sehingga dilakukan penelitian, tujuan penulisan, pembatasan masalah pada inti persoalan, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

### **Bab II : Dasar Teori**

Bab ini memuat dasar teori yang mendukung penulisan Tugas Akhir ini. Menjelaskan tentang konsep OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), kelebihan dan kelemahan teknik OFDM, sistem modem OFDM secara umum, menjelaskan tentang teknik mengatasi pergeseran frekuensi dan penanganan *gains control*.

### **Bab III : Perancangan Sistem**

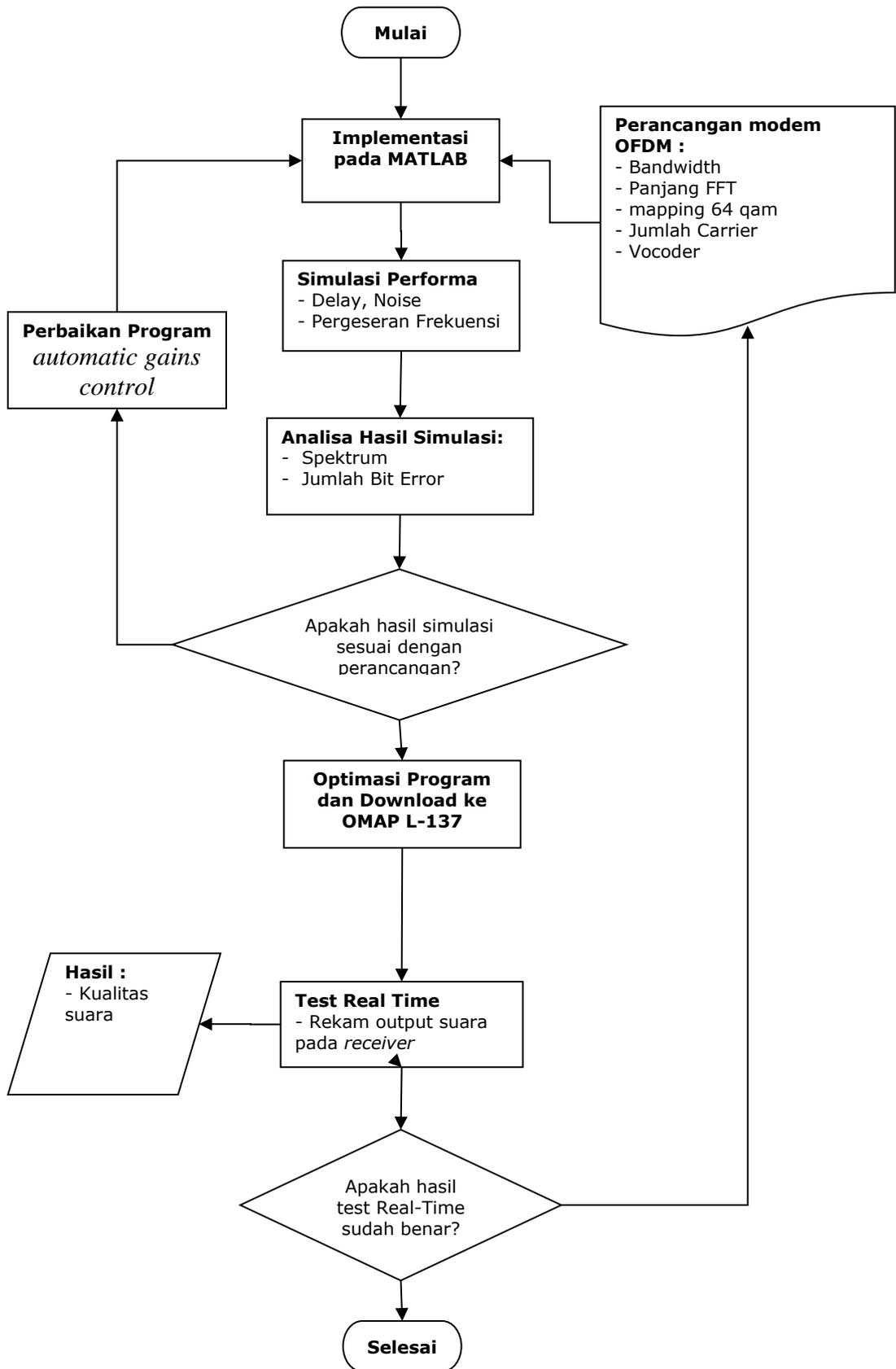
Berisi penjelasan mengenai perancangan modem OFDM dan perancangan *automatic gains control* pada sistem modem OFDM.

### **Bab IV : Hasil dan Pembahasan**

Berisi analisa kinerja penggunaan *automatic gains control* secara simulasi dan hasil implementasi pada board OMAP L-137.

### **Bab V : Kesimpulan dan Saran**

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran terhadap penelitian berikutnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini.



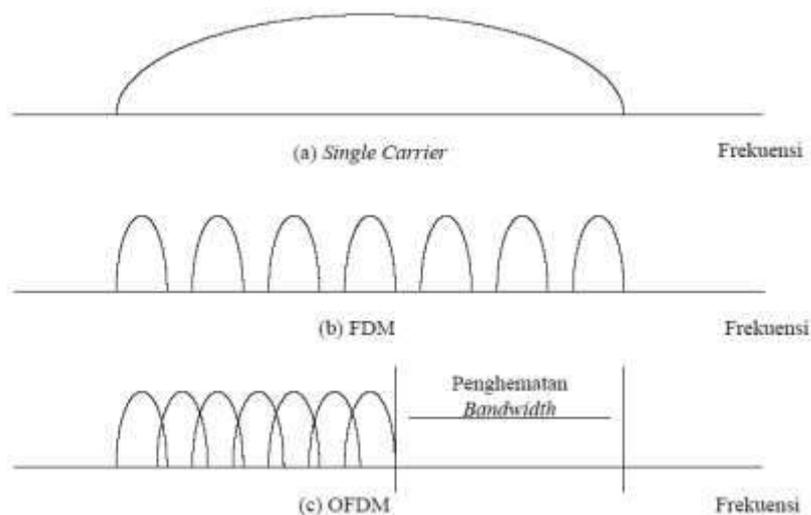
Gambar 1.1 Diagram alir penelitian

## Bab II. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Prinsip Dasar OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi yang menggunakan banyak frekuensi pembawa (*multicarrier*), dimana antar *subcarrier* satu dengan yang lain saling ortogonal. Karena sifat ortogonalitas ini, maka antar *subcarrier* yang berdekatan tidak saling berinterferensi. Hal ini akan membuat sistem OFDM mempunyai efisiensi spektrum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* konvensional.

Pada saat ini, OFDM telah dijadikan standar dan dioperasikan di Eropa yaitu pada proyek DAB (*Digital Audio Broadcast*), selain itu juga digunakan pada HDSL (*High Bit-rate Digital Subscriber Lines; 1.6 Mbps*), VHDSL (*Very High Speed Digital Subscriber Lines; 100 Mbps*), HDTV (*High Definition Television*) dan juga komunikasi radio. Teknologi ini sebenarnya sudah pernah diusulkan pada sekitar tahun 1950, dan penyusunan teori-teori dasar dari OFDM sudah selesai sekitar tahun 1960. Pada tahun 1966, OFDM telah dipatenkan di Amerika. Kemudian pada tahun 1970-an, muncul beberapa paper yang mengusulkan untuk mengaplikasikan DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada OFDM, dan sejak tahun 1985 muncul beberapa paper yang memikirkan pengaplikasian teknologi OFDM ini pada komunikasi wireless



**Gambar 2.1.** Pemakaian *bandwidth* pada (a). Singel carrier (b). FDM (c). OFDM

Prinsip dasar dari OFDM adalah membagi *data rate* sinyal informasi *wideband* menjadi deretan data paralel dengan *data rate* yang lebih rendah (*narrowband*) sehingga bila bit rate semula adalah  $R$ , maka bit rate di tiap-tiap jalur paralel adalah  $R/N$  dimana  $N$  adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *subcarrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *subcarrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT) untuk membentuk simbol OFDM.

Penggunaan IDFT pada sistem OFDM akan mengurangi tingkat kompleksitas sistem pengirim dan penerima. Dengan penggunaan IDFT maka tidak diperlukan banyak *osilator*, *mixer* dan *filter* untuk masing-masing *subcarrier*. IDFT digunakan untuk menghasilkan *subcarrier* yang orthogonal, untuk mempersingkat waktu komputasi dapat diimplementasikan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

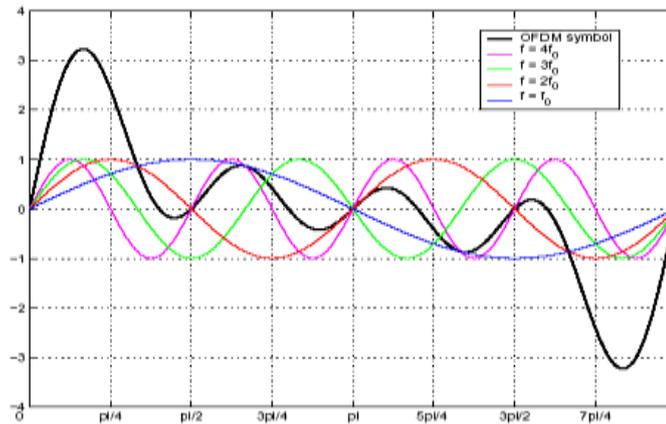
## 2.2. Ortogonalitas pada OFDM

Ortogonalitas adalah hal yang sangat penting pada OFDM. Ortogonalitas memungkinkan spektrum *subcarrier* yang saling *overlapping* tanpa menimbulkan interferensi satu dengan yang lain. Secara matematis pada suatu set sinyal, suatu sinyal disebut orthogonal jika memenuhi persamaan berikut:

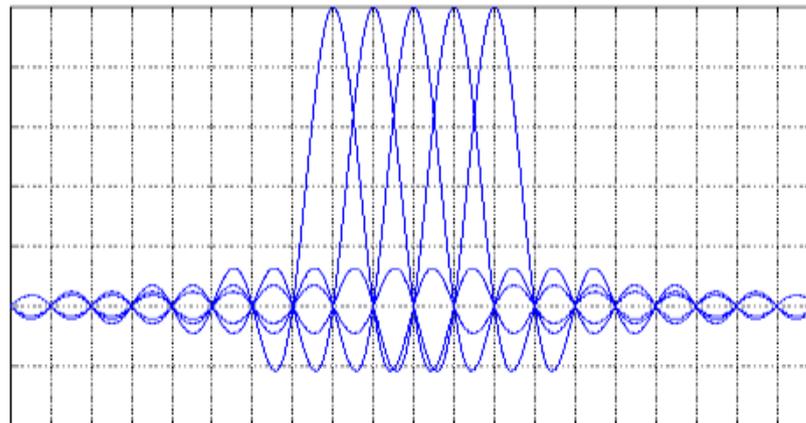
$$\int_0^{\tau} \psi_p(t) \psi_q^*(t) dt = \begin{cases} E_k & , \text{jika } p = q \\ 0 & , \text{jika } p \neq q \end{cases} \quad (2.1)$$

Dengan  $\psi^*(t)$  merupakan komplek konjugat dari  $\psi(t)$ ,  $E_k$  adalah konstanta bukan nol, dan  $\tau$  adalah perioda simbol OFDM.

Pada OFDM tiap *subcarrier* mempunyai sejumlah siklus utuh dalam periode simbol ( $\tau$ ), maka proses integrasi akan menghasilkan nol dari semua *subcarrier* tersebut. Jadi *subcarrier* akan menjadi orthogonal jika *spacing* dari masing-masing *subcarrier* adalah kelipatan dari  $1/\tau$ .



**Gambar 2.2** Representasi 4 buah *subcarrier* dalam satu simbol OFDM (tiap *subcarrier* mempunyai sejumlah siklus utuh)



**Gambar 2.3** Spektrum sinyal OFDM (spektrum *subcarrier* yang saling *overlapping*)

### 2.3. Deskripsi Matematis sinyal OFDM

Secara matematis subcarrier ke- $n$  dapat dituliskan sebagai,

$$y_n(t) = A_n(t)e^{j(\omega_n t + \theta_n(t))} \quad (2.2)$$

$A_n(t)$  dan  $\theta_n(t)$  merupakan amplitudo dan fasa dari *subcarrier*. Nilai dari parameter ini konstant selama durasi periode simbol  $\tau$ . Karena OFDM terdiri dari  $N$  subcarrier maka sinyal OFDM dapat dituliskan,

$$y_{ofdm}(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n(t)e^{j(\omega_n t + \theta_n(t))} \quad (2.3)$$

Dimana  $\omega_n = \omega_0 + n\Delta\omega$ .

Ini menunjukkan sinyal kontinu. Jika kita melihat bentuk gelombang dari setiap komponen sinyal pada periode satu simbol, maka variabel  $A_n(t)$  dan  $\theta_n(t)$  mempunyai nilai yang tetap, yang bergantung pada frekuensi dari *subcarrier*, sehingga dapat dituliskan,

$$A_n(t) = A_n \quad (2.4a)$$

$$\theta_n(t) = \theta_n \quad (2.4b)$$

Jika sinyal disampling dengan frekuensi sampling  $1/T$ , jadi sinyal hasilnya dapat ditulis sebagai,

$$y_{ofdm}(kT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j((\omega_0 + n\Delta\omega)kT + \theta_n)} \quad (2.5)$$

Pada titik ini kita telah membatasi waktu dimana kita menganalisa sinyal sampai  $N$  sampel. Sehingga kita memiliki hubungan,

$$\tau = NT \quad (2.6)$$

Jika kita menyederhanakan persamaan 2.5 dengan membuat  $\omega_0 = 0$ , maka sinyalnya akan menjadi:

$$y_{ofdm}(kT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{j\theta_n} e^{j(n\Delta\omega)kT} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.5 dapat dibandingkan dengan bentuk umum dari *Invers Fourier Transform* :

$$X(kT) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{j(n\Delta\omega)kT} \quad (2.8)$$

Dengan  $x(n) = A_n e^{j\theta_n}$  merupakan data yang ditumpangkan pada sinyal OFDM

## 2.4. Keunggulan dan Kelemahan Teknik OFDM<sup>[9]</sup>

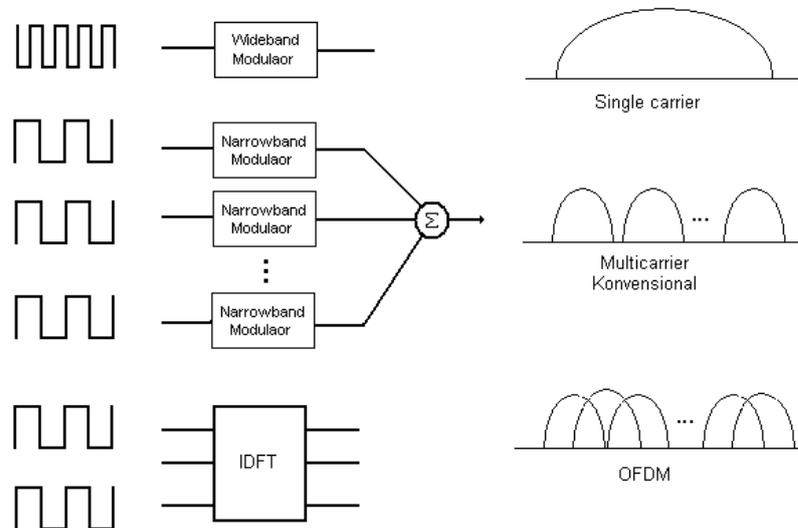
Teknik OFDM telah banyak diadopsi untuk berbagai teknologi komunikasi saat ini karena mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan teknik lain. Namun demikian, teknik ini memiliki beberapa kelemahan. Berikut ini adalah keunggulan dan kelemahan teknik OFDM.

### 2.4.1. Keunggulan teknik OFDM

#### 1. Efisien dalam pemakaian frekuensi

OFDM adalah salah satu jenis teknik transmisi *multicarrier*, tetapi memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM overlap spektrum antar *subcarrier* tidak menyebabkan interferensi, sedangkan pada sistem *multicarrier* konvensional untuk mencegah interferensi antar *subcarrier* yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*), dimana hal ini akan menurunkan kecepatan transmisi bila dibandingkan dengan sistem *single carrier* dengan lebar spektrum yang sama (Gambar 2.4). Kelemahan sistem *multicarrier* konvensional yang lain adalah pada *receiver* diperlukan *band pass*

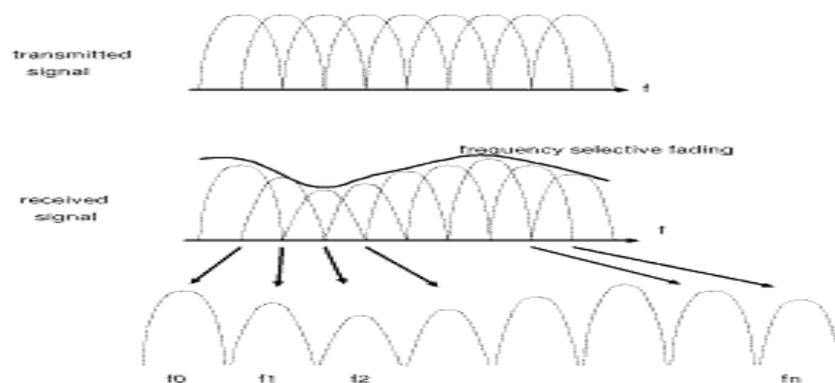
*filter* sebanyak frekuensi yang digunakan, sedangkan pada OFDM cukup menggunakan FFT saja.



**Gambar 2.4.** Perbandingan *single carrier*, *multicarrier* konvensional dan OFDM

## 2. Kuat menghadapi *frequency selective fading*

Keunggulan yang lain dari OFDM adalah kuat menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading* (dimana terjadi pelemahan daya terima secara tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu), tetapi tiap *subcarrier* dari sistem OFDM hanya mengalami *flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh *flat fading* ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari sistem mudah untuk ditingkatkan.



**Gambar 2.5.** *Frequency selektive fading* pada OFDM

Teknologi OFDM bisa mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, karena meskipun sistem secara keseluruhan memiliki kecepatan transmisi yang sangat tinggi sehingga mempunyai *bandwidth* yang lebar, karena transmisi menggunakan *subcarrier* (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* sangat rendah dan *bandwidth* dari tiap *subcarrier* sangat sempit, lebih sempit daripada *coherence bandwidth* (lebar daripada *bandwidth* yang memiliki karakteristik yang relatif sama). Perubahan dari *frequency selective fading* menjadi *flat fading* bisa diilustrasikan seperti Gambar 2.5.

### 3. Tidak sensitif terhadap sinyal tunda

Keuntungan yang lainnya adalah, dengan rendahnya kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga kesensitifan sistem terhadap *delay spread* (penyebaran sinyal-sinyal yang datang terlambat) menjadi relatif berkurang.

## 2.4.2. Kelemahan Teknik OFDM

Kelemahan teknik OFDM yang sangat menonjol dan sudah lama menjadi topik penelitian adalah sulitnya sinkronisasi untuk menjaga sinyal tetap ortogonal dan *nonlinear distortion* (distorsi nonlinear).

### 1. Frequency Offset

Sistem ini sangat sensitif terhadap *carrier frequency offset* yang disebabkan oleh perbedaan osilator pada transmitter dan receiver yang menghasilkan gelombang pembawa (*carrier wave*) dan juga terhadap Efek Doppler yang disebabkan oleh pergerakan baik oleh pengirim maupun penerima.

### 2. Distorsi Nonlinear

Sinyal OFDM memiliki *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih tinggi dari sinyal *single carrier*. Hal ini disebabkan oleh sinyal OFDM terdiri dari penjumlahan banyak sinyal *subcarrier*, sehingga pada suatu waktu memungkinkan penjumlahan nilai maksimum semua *subcarrier* pada OFDM akan menghasilkan nilai maksimum yang jauh lebih tinggi dari nilai rata-rata. Hal ini menimbulkan masalah karena daerah linier dari High Power Amplifier (HPA) terbatas, sehingga pada nilai maksimum melewati daerah kerja HPA maka sinyal akan mengalami distorsi yang akan menaikkan nilai *bit error ratio* (BER).

### 3. Sinkronisasi Sinyal

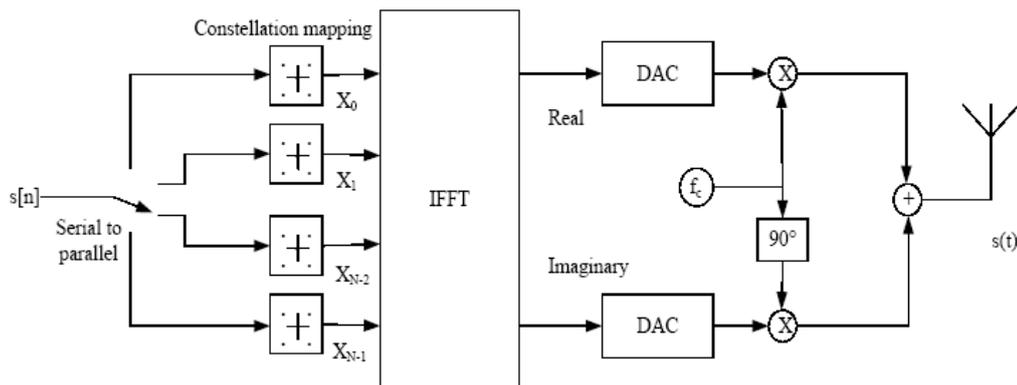
Pada stasiun penerima, menentukan *start point* untuk memulai operasi Fast Fourier Transform (FFT) ketika sinyal OFDM tiba di stasiun penerima adalah hal yang relatif sulit. Atau dengan kata lain, sinkronisasi daripada sinyal OFDM adalah hal yang sulit.

## 2.5 Sistem Modem OFDM

Secara umum, komponen yang membentuk sistem komunikasi *wireless* terdiri dari bagian *transmitter*, *channel*, dan *receiver*. Demikian juga halnya dengan sistem OFDM.

### 2.5.1 Transmitter OFDM

Sebuah sinyal *carrier* OFDM terdiri dari sejumlah *orthogonal subcarrier*. Data *baseband* pada masing-masing *subcarrier* dimodulasi menggunakan teknik modulasi yang umum, seperti *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) atau *Phase Shift Keying* (PSK). Sinyal *baseband* ini biasanya digunakan untuk memodulasi *carrier* RF,  $s[n]$  adalah aliran serial digit-digit biner. Dengan *multiplexing inverse*, aliran serial ini di-*demultiplex* ke dalam aliran paralel, kemudian masing-masing dipetakan (*mapping*) ke aliran simbol menggunakan beberapa konstelasi modulasi (QAM, PSK, FSK dll). Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram *transmitter* OFDM



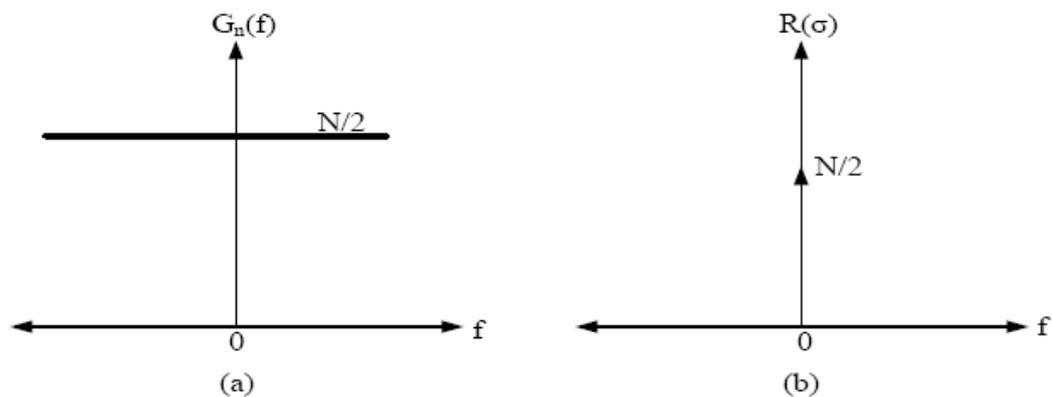
**Gambar 2.6** Blok Diagram *Transmitter* OFDM

IFFT dihitung pada setiap set simbol, memberikan satu set sampel kompleks pada *domain* waktu. Set sampel ini kemudian dicampur (*mixed*) secara kuadratur untuk *passband*.

Komponen real dan imajiner dikonversi ke *domain* analog menggunakan *Digital to Analog Converter* (DAC); sinyal analog kemudian digunakan untuk memodulasi gelombang kosinus dan sinus pada frekuensi pembawa ( $f_c$ ). Sinyal-sinyal ini kemudian dijumlahkan dan diperoleh parameter transmisi sinyal,  $s(t)$

### 2.5.2 Channel

Kanal adalah media elektromagnetik diantara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Kanal komunikasi *wireless* antara *transmitter* dan *receiver* merupakan gelombang radio. Gelombang ini rentan oleh gangguan sistem transmisi, salah satunya adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). AWGN merupakan *noise thermal* yang disebabkan oleh pergerakan-pergerakan elektron di dalam konduktor yang terdapat pada perangkat telekomunikasi. Pada bidang frekuensi, *noise thermal* ini memiliki nilai kepadatan spektral daya yang sama untuk daerah frekuensi yang lebar, yaitu sebesar  $N/2$ , seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 (a) sedangkan fungsi otokorelasi AWGN ditunjukkan pada Gambar 2.7 (b)



**Gambar 2.7** *Noise Thermal*

(a) Rapat Spektral Daya Derau Putih (b) Fungsi Otokorelasi Derau Putih

Karakteristik seperti ini disebut *white*. *Noise* yang memiliki karakteristik *white* disebut *white noise*, sehingga *noise thermal* merupakan *white noise*. Pergerakan elektron penyebab *noise thermal* bersifat acak, sehingga besarnya *noise thermal* juga berubah secara acak terhadap waktu. *Noise* ini merusak sinyal dalam bentuk aditif, yaitu ditambahkan ke sinyal utama, sehingga *noise thermal* pada perangkat

penerima ini disebut *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Persamaan Distribusi *Gaussian* yang mewakili AWGN dapat dituliskan pada persamaan 2.9

$$f(n) = \frac{e^{-\left(\frac{n^2}{2\sigma^2}\right)}}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \quad (2.9)$$

Dimana: Mean = 0 dan Varians =  $\sigma^2$

Varians memiliki nilai:

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2T_b} \quad (2.10)$$

Dimana:  $\frac{N_0}{2} = \frac{kT_s B}{2}$  adalah kerapatan spektral daya dari *noise* dan  $T_b$  adalah laju bit. Sehingga:

$$\sigma^2 = \frac{kT_s B}{2T_b} \quad (2.11)$$

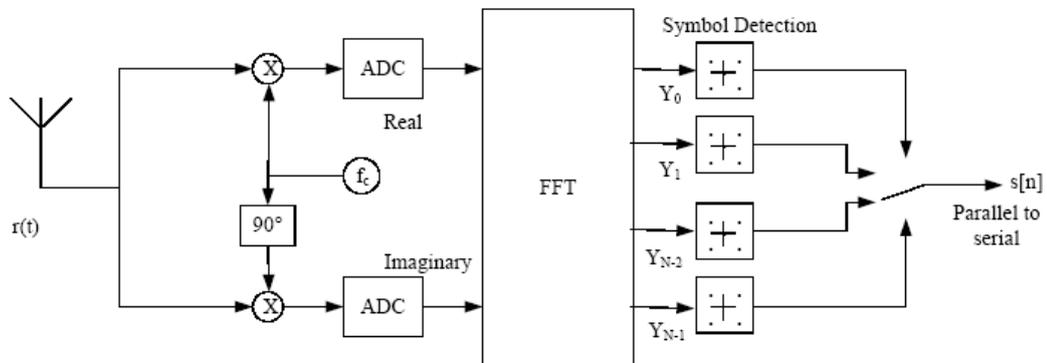
Dimana :  $k$  = Konstanta Boltzman ( $1,38.10^{-23}J/K$ )

$T_s$  = Temperatur *Noise* (Kelvin)

$B$  = *Bandwidth Noise* (Hertz)

### 2.5.3 Receiver OFDM

Pada sisi *receiver*, dilakukan proses yang berkebalikan dengan proses yang terjadi pada sisi *transmitter*. *Receiver* menerima sinyal  $r(t)$ , yang kemudian diproses secara kuadratur ke *baseband* menggunakan gelombang kosinus dan sinus pada frekuensi pembawa. Hal ini juga menciptakan sinyal berpusat pada  $2f_c$ , jadi low-pass filter digunakan untuk menolak ini. Gambar 2.8 menunjukkan blok diagram *receiver* OFDM.



**Gambar 2.8** Blok Diagram *Receiver* OFDM

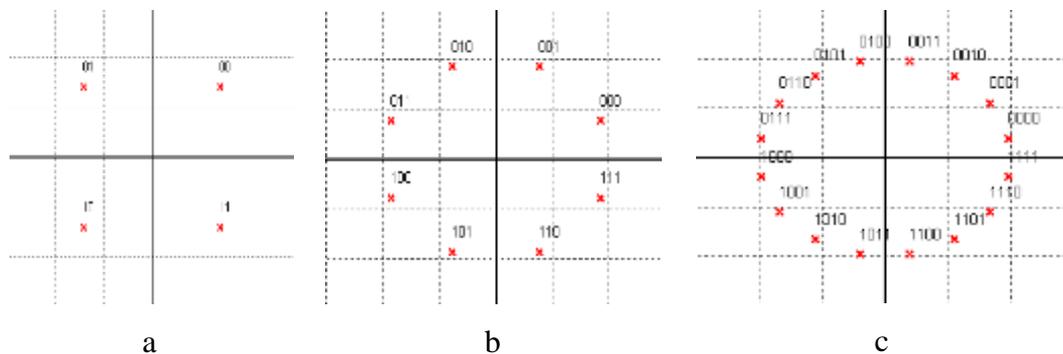
Sinyal *baseband* kemudian dicuplik dan diubah kebentuk digital menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC). FFT digunakan untuk mengubah kembali ke *domain* frekuensi. Aliran data kembali paralel, yang masing-masing dikonversi menjadi aliran biner menggunakan detektor simbol yang sesuai. Aliran simbol ini kemudian kembali digabungkan menjadi aliran serial  $s[n]$  yang merupakan aliran biner asli dari *transmitter*

## 2.6 Signal Mapping

Signal mapping adalah proses mengubah deretan bit menjadi gugus bit yang merepresentasikan phase maupun amplitude dari sinyal yang akan ditumpangkan. Signal mapping dapat dibedakan menjadi *Phase Shift Keying* (PSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

### 2.6.1 Phase Shift Keying (PSK)

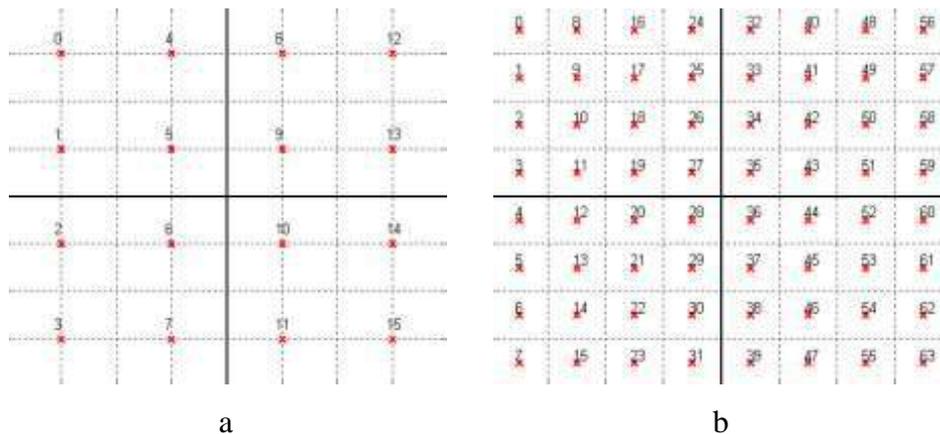
PSK mengelompokkan bit-bit (gugus bit) kedalam phase yang berbeda dengan amplitude yang tetap. PSK dapat dikelompokkan menjadi 4PSK(QPSK), 8PSK, 16PSK dan seterusnya (m-PSK). Masing-masing menunjukkan m-pembagian phase yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Konstelasi sinyal (a) QPSK (b) 8PSK (c) 16PSK

### 2.6.2 Quadrature Amplitude Modulation (QAM).

PSK mengelompokkan bit-bit (gugus bit) kedalam phase dan amplitudo yang berbeda. QAM dapat dikelompokkan



**Gambar 2.8** Konstelasi sinyal (a) 16QAM (b) 64QAM

### 2.7 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) dan Fast Fourier Transform (FFT)

IFFT mengubah sebuah spektrum (amplitudo dan fasa dari setiap komponen) ke bentuk sinyal dalam *domain* waktu. IFFT mengubah sejumlah titik data kompleks, kedalam *domain* waktu dengan jumlah titik yang sama. Setiap titik data dalam spektrum frekuensi yang digunakan pada FFT atau IFFT disebut dengan bin. *Orthogonal carrier* digunakan untuk sinyal OFDM dapat dengan mudah disamakan dengan mengatur amplitudo dan fasa dari setiap bin-IFFT, kemudian dilakukan proses IFFT. Ketika setiap bin-IFFT diatur amplitudo dan fasanya pada gelombang sinusoidal *orthogonal*, proses yang berkebalikan menjamin bahwa *carrier* tetap *orthogonal*. FFT melakukan proses berkebalikan, mengubah sinyal dalam *domain* waktu ke bentuk spektrum frekuensi yang ekuivalen. Hal ini dilakukan dengan menemukan bentuk sinyal yang ekuivalen, yaitu dengan menjumlahkan komponen-komponen sinyal sinus yang saling *orthogonal*. Amplitudo dan fasa dari komponen-komponen sinusoidal merepresentasikan spektrum frekuensi dari sinyal *domain* waktu.

### 2.8. Guard Interval

Simbol OFDM akan tetap *orthogonal* dengan menerapkan DFT pada sisi *receiver*. Hal ini dapat tercapai bila tidak terjadi ISI (*Intersymbol Interference*) pada kanal transmisi. Namun, hal ini sulit tercapai karena pada umumnya kanal transmisi *wireless* dapat mengalami *multipath* pada sinyal yang ditransmisikan. Hal ini

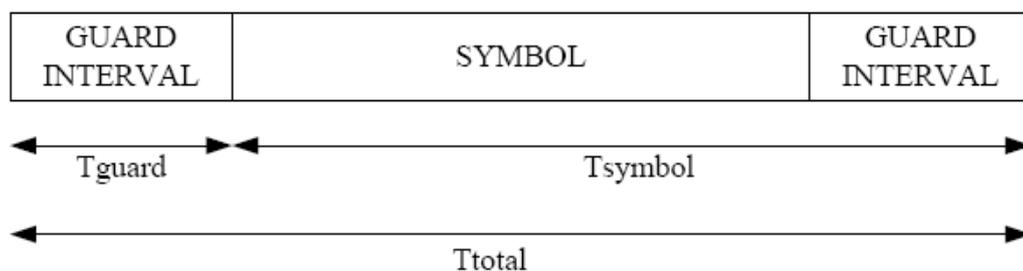
mengakibatkan diterimanya sinyal asli yang ter-*delay* pada *receiver*. Dengan demikian, suatu simbol dapat mengakibatkan interferensi pada simbol berikutnya atau suatu simbol dapat mengalami interferensi dari simbol sebelumnya. Suatu cara untuk mengatasi ISI ini ialah dengan melakukan penyisipan *guard interval*. *Guard interval* dapat berupa CP (*cyclic prefix*). Dalam sistem OFDM, CP memegang peranan penting untuk mempertahankan orthogonalitas *subcarrier* OFDM pada situasi kanal yang selektif frekuensi. CP adalah deretan *bit* yang dibentuk dengan menyalin ulang bagian akhir *bit-bit* suatu simbol OFDM, kemudian menempatkan *bit-bit* tersebut di awal simbol. Dengan adanya tambahan CP ini, sinyal OFDM tidak akan mengalami ISI selama besar *delay spread* kanal lebih pendek dari durasi CP yang diilustrasikan seperti Gambar 2.9. Kekurangan dari sistem *guard interval* adalah daya transmisi yang menjadi kurang efektif akibat adanya pengiriman secara berulang sinyal *guard interval*.

Secara matematis, periode total simbol OFDM dapat dirumuskan:

$$T_{total} = T_{guard} + T_{symbol} \quad (2.12)$$

Dimana:  $T_{total}$  = Periode total simbol OFDM (detik)

$T_{symbol}$  = Periode simbol OFDM (detik)  $T_{guard}$  = Periode *cyclic prefix* (detik)



**Gambar 2.9** Penyisipan *Guard*

## 2.9 Automatic Gains Control (AGC)

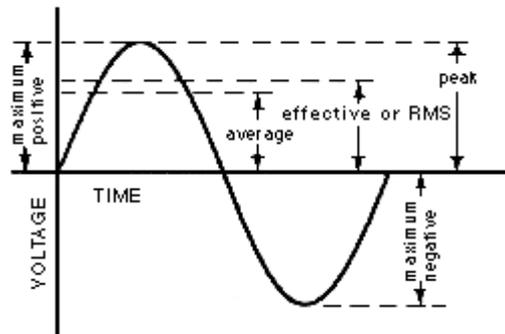
Automatic gain control dapat diartikan sebuah sistem yang secara otomatis dapat memvariasikan penguatan frekuensi penerima terhadap perubahan sinyal pada masukan. Dalam sebagian besar kasus tegangan sinyal yang tiba di input penerima mengalami perubahan. Hal ini disebabkan perbedaan dalam kekuatan pemancar, perbedaan jarak dari lokasi penerima, memudar dari sinyal yang tersebar,

perubahan tiba-tiba dari jarak, dan kondisi penerimaan antara pemancar dan penerima yang dipasang pada obyek yang bergerak, seperti pesawat terbang dan mobil. Perubahan ini menyebabkan osilasi tidak dapat diterima atau distorsi dari sinyal di penerima.

Dalam perancangan AGC untuk secara signifikan mengurangi variasi tegangan output dari penerima yang berhubungan dengan tegangan sinyal masukan. Hal ini dicapai dengan memperbaiki regulasi tegangan dari detektor ke kontrol variable.

### 2.9.1. Automatic Gains Control (AGC) dengan metoda *Root means square* (rms)

AGC dengan metoda RMS (Root Mean Square) berguna ketika sinyal perlu untuk kompres atau dibatasi, namun masih mempertahankan cukup banyak sensasi dinamis, dan lebih mungkin untuk digunakan dengan sinyal musik yang lebih kompleks. konstanta waktu RMS dapat secara manual dikendalikan untuk menghasilkan suara untuk preferensi pengguna.



Untuk mencari RMS suatu sinyal dalam domain frekuensi dapat di jelaskan dengan teori Parseval

$$\sum_n x^2(t) = \frac{\sum_n |X(f)|^2}{n}$$

Dimana  $X(f) = FFT\{x(t)\}$  dan n adalah jumlah sampel  $x(t)$

Dalam kasus ini, nilai RMS secara komputasi dalam domain waktu sama dengan domain frekuensi yaitu :

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n x^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n |X(f)|^2} = \sqrt{\sum_n \left| \frac{X(f)}{n} \right|^2}$$

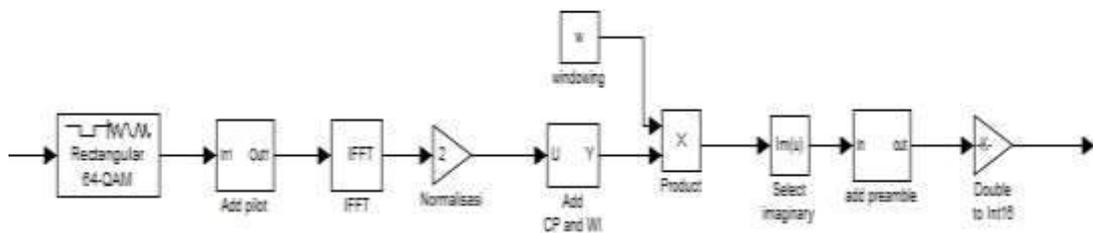
## Bab III Perancangan Sistem OFDM

Pada Bab ini akan dibahas proses perancangan modem OFDM. Untuk memudahkan pengujian algoritma dan desain sistem serta implementasi pada OMAP L137 TMS320C6747, maka sistem dimodelkan dan simulasikan dengan menggunakan *software* simulink pada MATLAB 2010a.

### 3.1. Perancangan Sistem Modem OFDM

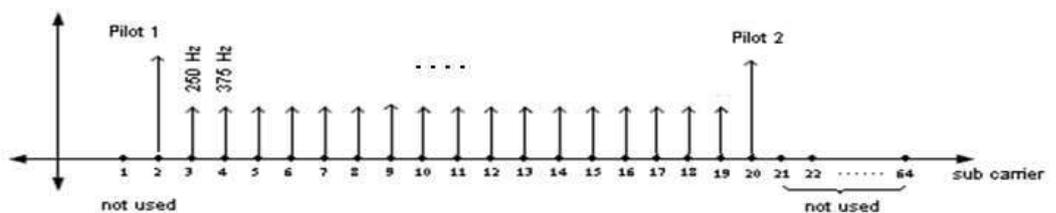
#### 3.1.1 Pemancar OFDM

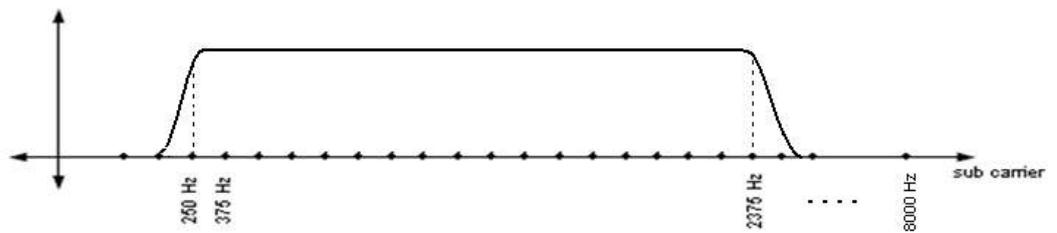
Pemancar OFDM merupakan bagian yang bertugas memodulasi (modulator) data digital ke dalam sinyal *carrier* dan menyusunnya menjadi sebuah simbol OFDM. Diagram blok pemancar OFDM terdiri dari *signal mapping*, *add pilot*, IFFT, dan *add preamble*.



Gambar 3.1 Blok diagram *transmitter* OFDM

Data digital yang masuk akan mengalami proses mapping menggunakan 64QAM dimana data berjumlah 6 bit, kemudian hasil mapping digabung dengan pilot dengan susunan pilot berada pada kedua sisi subcarrier (Gambar 3.2a).

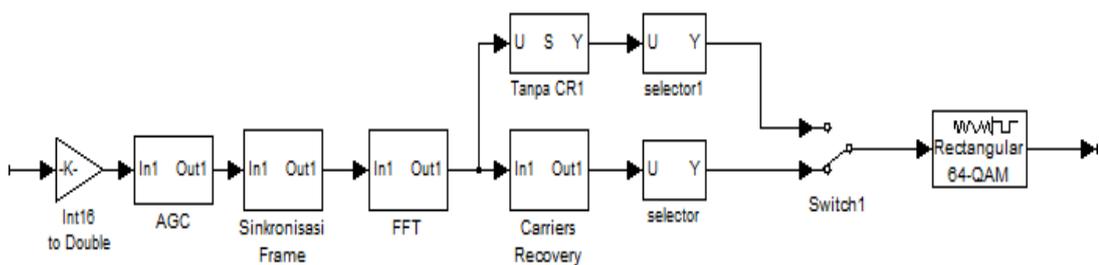




**Gambar 3.2** (a) Pengaturan *subcarrier* pada *transmitter* OFDM  
(b) Spektrum yang dihasilkan

Dari 64 kaki masukan IFFT, hanya 20 kaki masukan yang digunakan yaitu 18 kaki untuk simbol data dan 2 kaki untuk pilot sebagai acuan untuk *carrier recovery*. Hal ini sengaja dilakukan agar *bandwidth* yang ditransmisikan tidak melebihi 2,5 kHz (Gambar 3.2b).

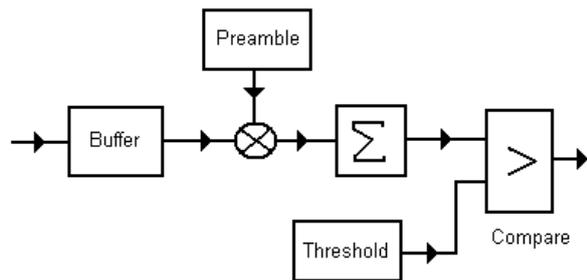
### 3.1.2 Penerima OFDM



**Gambar 3.3** Blok diagram *Receiver* OFDM

Proses yang terjadi pada *receiver* adalah kebalikan proses pada *transmitter*. Bedanya, terdapat proses *Automatic Gain Control*, *sinkronisasi frame* setelah terdeteksi *preamble* dan proses *carrier recovery* untuk memulihkan *frekuensi offset* pada data yang diterima.

Deteksi *preamble* dilakukan dengan melakukan korelasi sinyal yang masuk dengan *preamble*. Hasil korelasi dibandingkan dengan nilai *threshold*. Apabila hasil korelasi melebihi *threshold* maka menandakan data akan masuk.



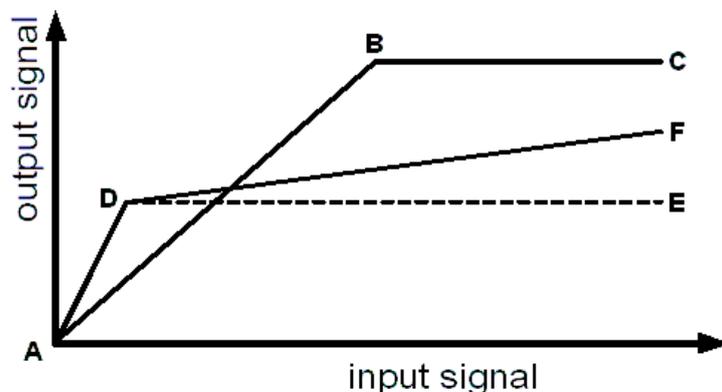
**Gambar 3.4** Blok diagram pendeteksi preamble

Jika preamble telah terdeteksi maka bagian sinkronisasi frame akan dijalankan. Tujuan dari sinkronisasi frame adalah menentukan posisi awal data sesuai dengan posisi IFFT pada pemancar.

FFT berfungsi sebagai demodulator yaitu mengubah sinyal carrier menjadi data yaitu dengan mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. *Selector* berfungsi untuk memisahkan data dan pilot. Pilot selanjutnya masuk ke *carrier recovery*.

### 3.2. Perancangan *Automativ GainControl* pada Sistem Modem OFDM

Pada dasarnya penggunaan *Automatic gain control* adalah untuk mempertahankan kestabilan sinyal yang di terima receiver OFDM. Setelah sinyal melewati chanel biasanya mengalami masalah pengecilan atau perbesaran yang membuat sinyal menjadi tidak konstan. Permasalahan ini terjadi ketika penggunaan modulasi yang lebih besar seperti 8 PSK keatas, 8 QAM keatas dan bila sinyal harus melewati chanel yang lebih panjang dan lebih banyak gangguan seperti WIFI seperti pada gambar 3.5.



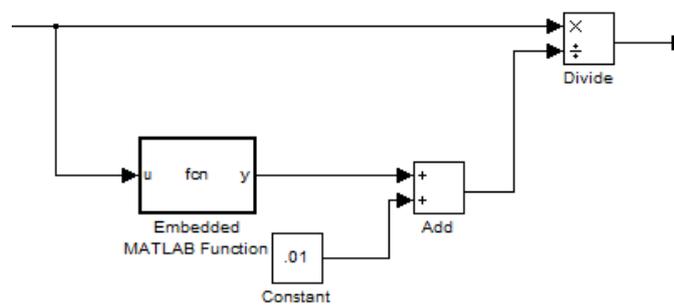
**Gambar 3.5** Fungsi transfer dari AGC

Garis yang ditunjukkan lurus A, B dan C adalah sistem tanpa penggunaan AGC. Keluaran mengalami kenaikan secara drastis pada poin B ketika terjadi ketidak linieran dan overload pada poin. Selanjutnya B ke C sinyal mengalami distorsi dan pelemahan sistem. Pada titik A, D dan E sistem ini telah menggunakan AGC dimana garis yang dibentik antara titik A dan D mengungkapkan kenaikan nilai setelah sistem terdeteksi mengalami ketidak linearan. Dan dari D ke E, sinyal tidak akan dinaikan lagi tetapi di buat menjadi stabil.

Adapun block automatic gain control dapat dilihat pada gambar 3.6.

**Input**

**output**



**Gambar 3.6** blok *automatic gain control* RMS

Sinyal yang di terima oleh receiver dikalikan dengan sinyal referensi sebesar *root mean square* (RMS) sinyal tersebut. Dalam perancangan blok di atas, bentuk sinyal referensi terdiri dari buffer minimal 10 kali panjang sinyal, perkalian dengan RMS dan selanjutnya pembatasan nilai sinyal paling kecil sebesar 0.1 yaitu ketika sinyal yang diterima lebih kecil dari nilai tersebut maka secara otomatis nilai konstanta yang kita buat dimasukkan.

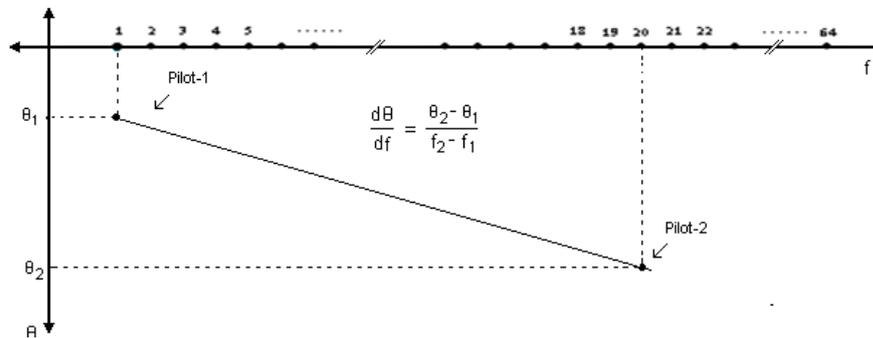
### 3.3. Perancangan *Carrier Recovery* pada Sistem Modem OFDM

*Carrier recovery* digunakan untuk mengatasi adanya pergeseran frekuensi *carrier* akibat efek Doppler maupun adanya perbedaan *clock* antara ADC dan DAC pada *transmitter* dan *receiver*. Besarnya pergeseran frekuensi antar *subcarrier* bertambah secara linier.

Penambahan pilot digunakan sebagai referensi untuk menghitung besarnya pergeseran frekuensi tiap *subcarrier*. Perhitungan pergeseran frekuensi dinyatakan dalam phase seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.

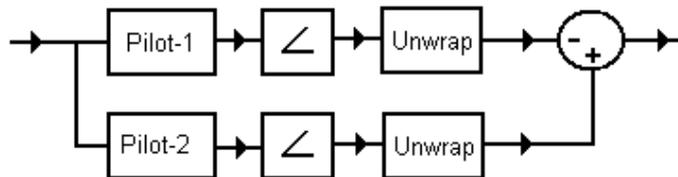
Phase dari pilot pada *transmitter* telah diset bernilai  $\pi/4$ . Setelah dikirim, phase pilot akan berubah akibat adanya kanal transmisi. Perubahan *phase* inilah yang digunakan untuk mengestimasi pergeseran phase dari tiap *subcarrier*. Karena pergeseran phase berubah secara linier maka dibutuhkan minimal 2 pilot untuk menginterpolasi titik yang lain (Gambar 3.7). Hubungan pergeseran phase terhadap frekuensi *subcarrier* dapat dinyatakan dengan:

$$\theta(f) = \theta_{delay} + \frac{d\theta}{df} f \quad (3.1)$$



**Gambar 3.7** Pergeseran phase

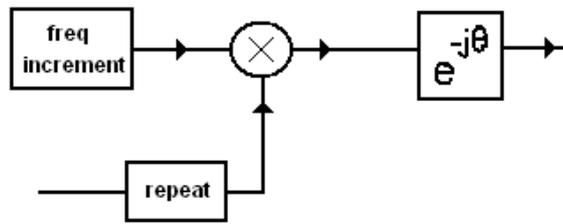
Algoritma yang digunakan untuk menghilangkan efek pergeseran phase adalah dengan mengalikan (merotasikan) tiap *subcarrier* tersebut dengan pergeseran frekuensi hasil perhitungan.



**Gambar 3.8** Proses perhitungan *phase offset*

Perhitungan pergeseran *phase* dilakukan dengan mengambil *phase* dari pilot selanjutnya dilakukan interpolasi untuk tiap *subcarrier*. Proses interpolasi dilakukan dengan mengalikan semua frekuensi *subcarrier* dengan *phase offset*nya kemudian diubah kedalam sinyal kompleks sesuai persamaan

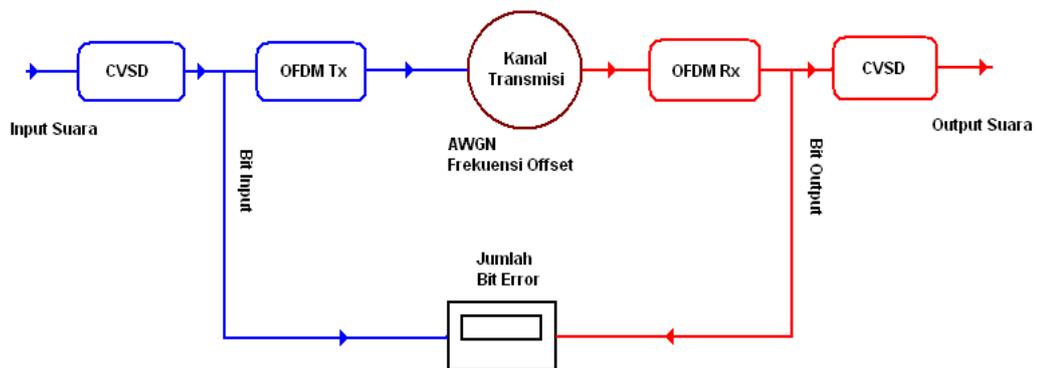
$$e^{-j\theta} = \cos \theta - j \sin \theta \quad (3.2)$$



Gambar 3.9 Proses interpolasi *phase offset*

### 3.3. Perancangan Simulasi

Simulasi dilakukan untuk menganalisa performa dari *automatic gain control* pada sistem OFDM yang telah dirancang. Performa *automatic gain control* disimulasikan dengan melewati sinyal OFDM pada kanal transmisi berupa noise, delay dan frekuensi offset. Performa dari *automatic gain control* diukur berdasarkan jumlah bit error pada penerima. Dalam simulasi ini jumlah bit yang dikirim adalah sebanyak 10000 bit. Simulasi performa *automatic gain control* dibagi kedalam tiga bagian yaitu simulasi-1 untuk mengetahui performa *carrier recovery* dengan variasi frekuensi offset, simulasi-2 untuk mengetahui performa *automatic gain control* dengan variasi panjang FFT, dan simulasi-3 untuk mengetahui performa *automatic gain control* dengan variasi frekuensi sampling. Parameter OFDM yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1 sampai Tabel 3.3.



Gambar 3.8 Blok diagram simulasi.

**Tabel 3.1.** Parameter Simulasi-1

<b>Parameter OFDM</b>	
Data Rate	4 kbps
Panjang FFT	64
Mapping	16 QAM
Jumlah carrier	18 carrier data + 2 carrier pilot
Jarak antar carrier	125 Hz
<i>Bandwidth</i>	2375 Hz
Panjang CP dan WI	1/16 panjang FFT
Vocoder	CVSD 4 kbps
<b>Parameter Kanal</b>	
AWGN	SNR : 10 dB sampai 60 dB dengan kelipatan 5 dB
Frekuensi Offset	0 Hz sampai 25 Hz dengan kelipatan 5 Hz

**Tabel 3.2.** Parameter Simulasi-2

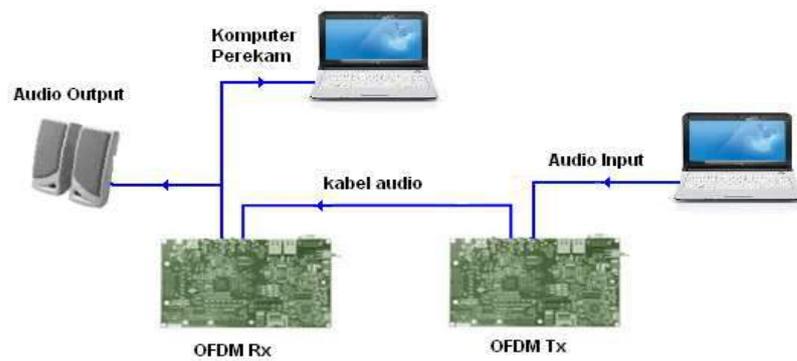
<b>Parameter OFDM</b>	<b>Panjang FFT</b>	
	<b>64</b>	<b>128</b>
Data Rate	4 kbps	4 kbps
Mapping	64 QAM	64 QAM
Jumlah carrier	18 data + 2 pilot	18 data+ 2 pilot
Jarak antar carrier	<b>125 Hz</b>	<b>62,5 Hz</b>
<i>Bandwidth</i>	2375 Hz	2375 Hz
Panjang CP dan WI	1/16	1/16
Frekuensi Sampling	8 kHz	8 kHz
Vocoder	CVSD 8 kbps	CVSD 8 kbps
<b>Parameter Kanal</b>		
AWGN	SNR : 10 dB sampai 60 dB dengan kelipatan 5 dB	
Frekuensi Offset	5 Hz	

**Tabel 3.3.** Parameter Simulasi-3

Parameter OFDM	Frekuensi Sampling	
	8 kHz	16 kHz
Data Rate	4 kbps	4 kbps
Mapping	16 QAM	16 QAM
Panjang FFT	<b>64</b>	<b>128</b>
Jumlah carrier	18 data + 2 pilot	18 data + 2 pilot
Jarak antar carrier	125 Hz	62.5 Hz
<i>Bandwidth</i>	2375 Hz	2375 Hz
Panjang CP dan WI	1/16	1/16
Vocoder	CVSD 4 kbps	CVSD 4 kbps
Parameter Kanal		
AWGN	SNR : 10 dB sampai 60 dB dengan kelipatan 5 dB	
Frekuensi Offset	5 Hz	

### 3.4. Pengujian Sistem Modem OFDM

Modem OFDM yang telah dirancang dan disimulasikan kemudian ditanam pada board TMS320C6747. Pada pengujian dilakukan proses perekaman suara output *receiver* untuk membandingkan kualitas suara yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10. Pengujian sistem modem OFDM dilakukan tiga variasi yaitu pengujian-1 untuk menganalisa pengaruh panjang FFT terhadap performa *automatic gain control*. Parameter modem OFDM untuk pengujian-1 sama dengan pada simulasi-1. Pengujian-2 dilakukan untuk menganalisa pengaruh jenis mapping terhadap performa *automatic gain control*. Parameter modem OFDM untuk pengujian-2 ditunjukkan pada Table 3.4. Sedangkan pada pengujian-3 dilakukan untuk menganalisa pengaruh frekuensi sampling terhadap performa *automatic gain control*. Parameternya sama dengan parameter pada simulasi-3.



**Gambar 3.9** pengujian sistem modem OFDM

**Tabel 3.4.** Parameter pengujian-2

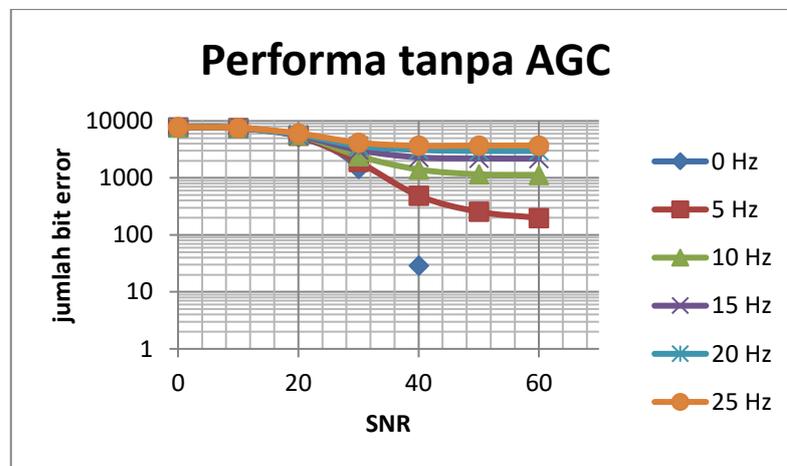
Parameter OFDM	Jenis Mapping		
	4 QAM	16 QAM	64 QAM
Data Rate	2 kbps	4 kbps	8 kbps
Panjang FFT	64	64	64
Jumlah carrier	18 data + 2 pilot	18 data + 2 pilot	12 data + 2 pilot
Jarak antar carrier	125 Hz	125 Hz	125 Hz
<i>Bandwidth</i>	Hz	Hz	Hz
Frekuensi Sampling	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Panjang CP dan WI	1/16	1/16	1/16
Vocoder	CVSD 4 kbps	CVSD 8 kbps	CVSD 8 kbps

## Bab IV Hasil dan Pembahasan

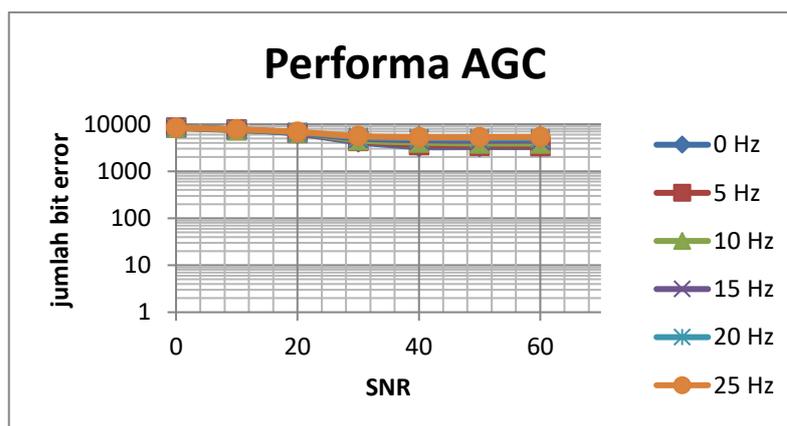
### 4.1. Hasil Simulasi

#### 4.1.1 Analisa performa *Automatic Gain Control* terhadap variasi frekuensi offset

Performa OFDM dengan dan tanpa *Automatic Gain Control* ditunjukkan dengan grafik jumlah bit error terhadap besarnya frekuensi offset dengan variasi SNR dari 10 dB sampai 60 dB seperti pada Gambar 4.1. Banyaknya data yang disimulasikan adalah 10000 bit.



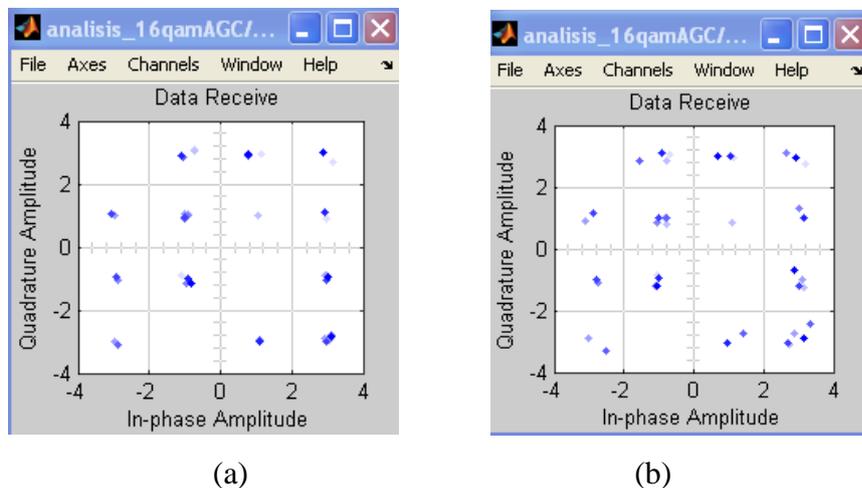
(a)



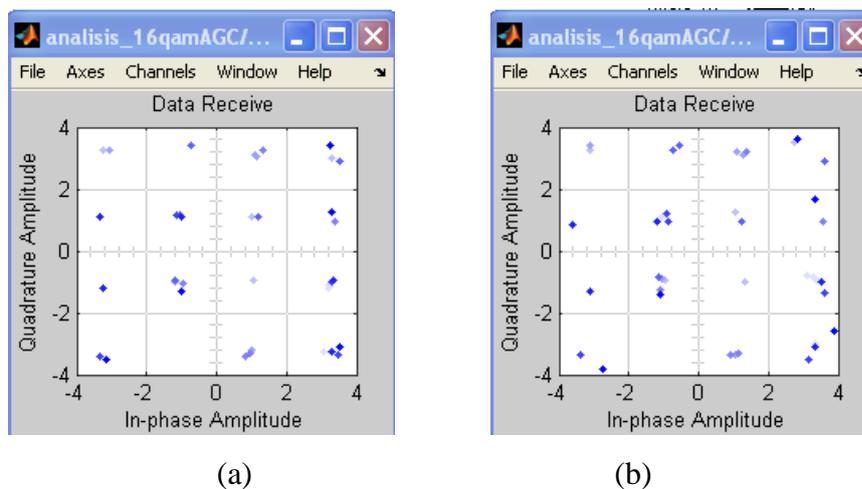
(b)

**Gambar 4.1** Performa OFDM (a) tanpa *Automatic Gain Control* (b) dengan *Automatic Gain Control*

Dengan peningkatan frekuensi offset pada simulasi yang dilakukan, pada kedua hal di atas cenderung mengalami penurunan perbandingan sinyal dan noise dalam pengujian. Sistem OFDM tanpa menggunakan *Automatic Gain Control* lebih baik dalam mengatasi efek *inter carrier interference* (ICI) dari pada OFDM yang menggunakan *Automatic Gain Control*. *Automatic Gain Control* pada dasarnya mengurangi variasi amplitudo yang terjadi pada sinyal yang dapat menyebabkan hilangnya informasi yang di tangkap pada *receiver*. Tetapi jika dibandingkan jumlah data yang dikirim dengan jumlah error yang ditimbulkan pada penggunaan *Automatic Gain Control*, nilai error yang didapat sekitar 0,3 persen. Selanjutnya dapat kita lihat konstelasi performa OFDM dengan perubahan frekuensi offset



**Gambar 4.2** Konstelasi OFDM tanpa *Automatic Gain Control* (a) frekuensi offset 1 Hz (b) frekuensi offset 3 Hz

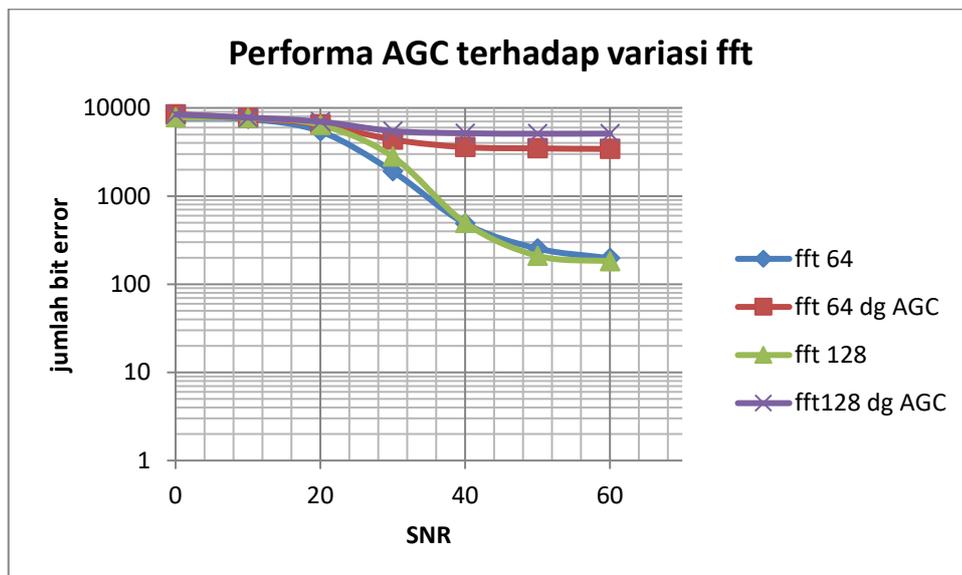


**Gambar 4.3** Konstelasi OFDM dengan *Automatic Gain Control* (a) frekuensi offset 1 Hz (b) frekuensi offset 3 Hz

Dengan mengamati titik-titik konstelasi, baik dengan dan tanpa *Automatic Gain Control* terjadi pengimpangan beberapa derajat dari titik yang seharusnya berada tetapi masih pada kelompok quadran yang sama. *Automatic Gain Control* secara konstelasi belum mampu mengatasi pengimpangan pada titik-titik data untuk jumlah data yang besar.

#### 4.1.2 Analisa performa *Automatic Gain Control* terhadap variasi panjang FFT

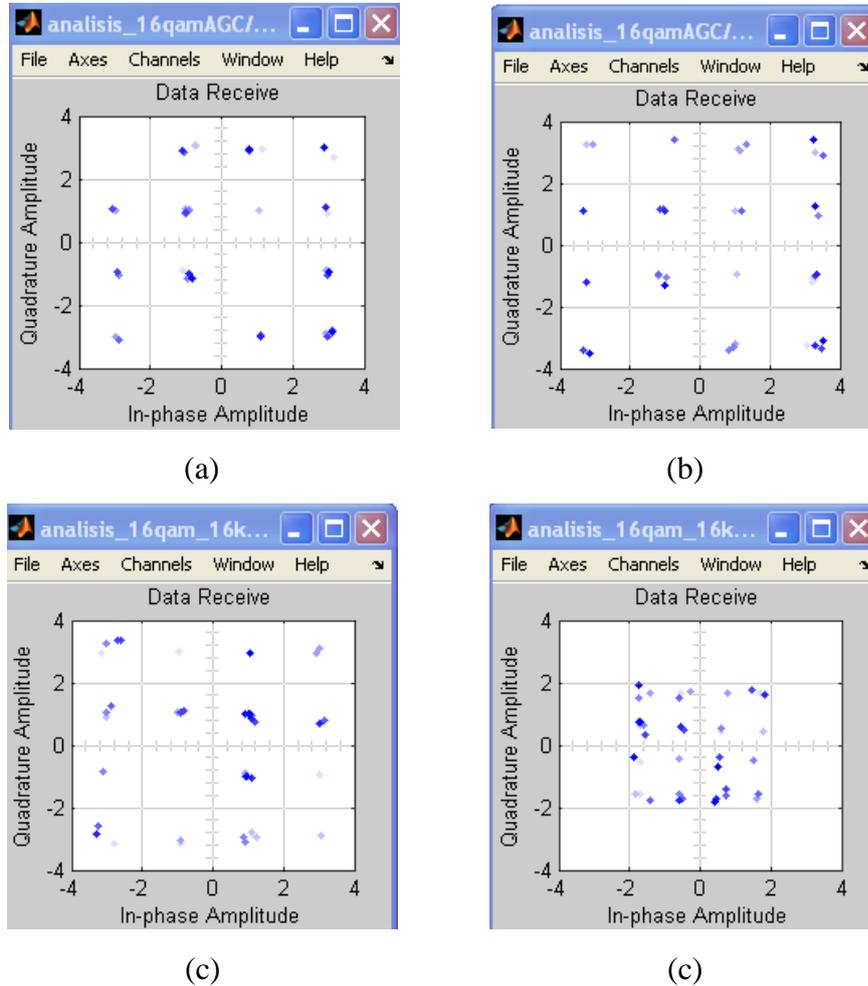
Pada simulasi ini panjang FFT divariasi untuk mengetahui pengaruh panjang FFT terhadap performa *carrier recovery* pada frekuensi offset sebesar 5 Hz. Jumlah data yang disimulasikan adalah sebanyak 10000 bit.



**Gambar 4.4** Performa OFDM terhadap variasi panjang fft

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin panjang FFT yang digunakan maka performa *automatic gain control* semakin menurun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dengan *automatic gain control* terlihat bahwa jumlah bit error tidak akan pernah mencapai nol walaupun nilai SNR terus dinaikkan, berkebalikan dengan tanpa *automatic gain control* yang cenderung mendekati arah nol. Hal ini karena semakin panjang FFT jarak antar *subcarrier* semakin sempit sehingga interferensinya semakin besar. Jadi jika antar *subcarrier* tidak ortogonal maka

akan terjadi efek ICI dimana semakin kecil jarak antar *subcarrier* maka efek ICI akan semakin besar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *automatic gain control* dengan metode ini belum mampu mengatasi pergeseran frekuensi offset dengan penambahan panjang FFT.

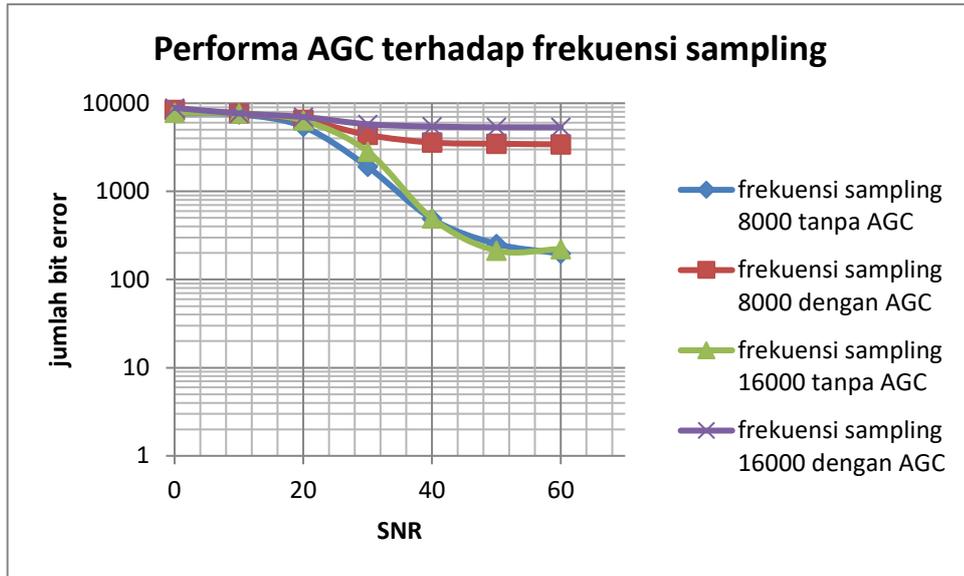


**Gambar 4.5** Konstelasi OFDM

- (a) tanpa AGC panjang FFT 64 (b) dengan AGC panjang FFT 64  
(c) tanpa AGC panjang FFT 128 (d) dengan AGC panjang FFT 128

### 4.1.3 Analisa performa *carrier recovery* terhadap variasi frekuensi sampling

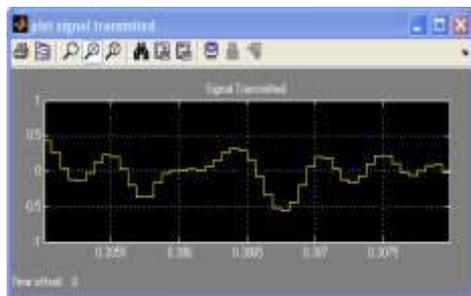
Pada simulasi ini frekuensi sampling divariasikan untuk mengetahui pengaruh frekuensi sampling terhadap performa *carrier recovery* pada frekuensi offset sebesar 5 Hz dengan jarak antar *subcarrier* dibuat tetap. Jumlah data yang disimulasikan adalah sebanyak 10000 bit.



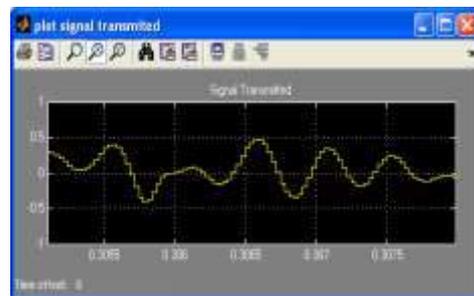
**Gambar 4.6** Performa *Automatic Gain Control* terhadap variasi frekuensi sampling

Hampir sama dengan variasi FFT, tanpa *Automatic Gain Control* tingkat ketahanan OFDM lebih baik dari pada menggunakan *Automatic Gain Control*. Selanjutnya dengan bertambahnya frekuensi sampling yang digunakan semakin baik ketahanan OFDM terhadap *noise*. Adapun fungsi dari konfigurasi *Automatic Gain Control* adalah menjaga sistem untuk dapat bekerja secara optimal yaitu menghasilkan sinyal keluaran tetap konstan berapapun nilai masukannya, mencapai suatu nilai SNR tinggi untuk sinyal lemah dan menghindari terjadinya saturasi saat sinyal kuat.

Semakin besar frekuensi sampling maka bentuk sinyal semakin halus karena resolusinya semakin tinggi sehingga perhitungan phase pada *Automatic Gain Control* akan semakin akurat.



(a)



(b)

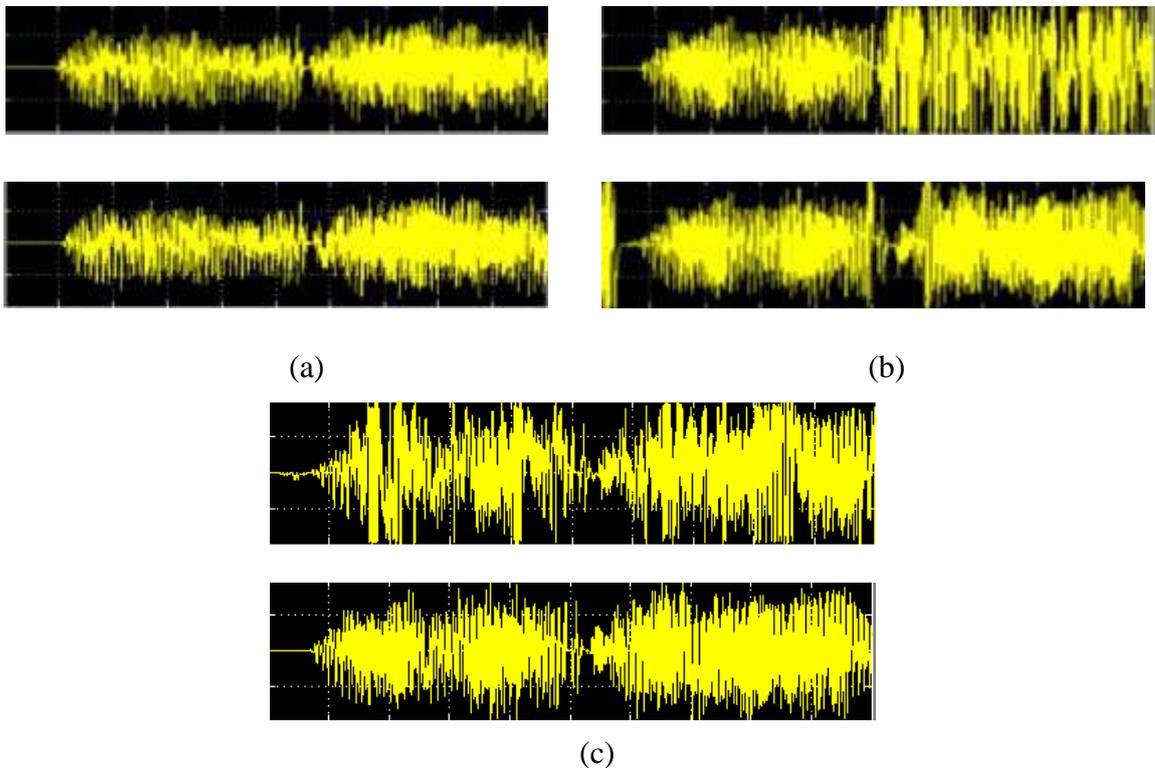
**Gambar 4.7.** Bentuk sinyal yang ditransmisikan dengan

frekuensi sampling (a) 16 kHz (b) 32 kHz.

## 4.2. Hasil Implementasi

### 4.2.1 Analisa performa *Automatic gain control* terhadap variasi jenis mapping

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengujian dengan menggunakan 4 QAM, 16 QAM dan 64 QAM dengan panjang FFT 64 dan frekuensi sampling 8 kHz.



**Gambar 4.8** Output suara pada *receiver* dengan variasi mapping. (a) 4 QAM (b) 16 QAM (c) 64 QAM (atas: tanpa AGC, bawah: dengan AGC).

Dari Gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa *Automatic Gain Control* dapat memperbaiki sinyal decoding pada jenis mapping yang berbeda-beda. Namun, dengan performa yang semakin baik terhadap jenis mapping yang besar. Untuk jenis mapping 64 QAM mempunyai kualitas suara yang lebih baik dari 16 QAM.

Banyak parameter *Automatic Gain Control* bergantung pada jenis modulasi yang digunakan pada sistem. Jika system menggunakan modulasi dengan jenis *Amplitude Modulation* (AM) , maka *Automatic Gain Control* harus

diatur agar tidak memberika respon pada setiap perubahan yang terjadi pada *Amplitude Modulation* atau akan terjadi distorsi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa *Automatic Gain Control* dapat bekerja dengan baik pada berbagai modulasi. Seperti yang telah disimulasikan bahwa semakin besar modulasi yang digunakan maka performa *Automatic Gain Control* semakin bagus karena kualitas suara menjadi lebih stabil dan kuat. Namun demikian, kemampuan suatu *digital signal prosesor* (DSP) memiliki batas kecepatan siklus instruksi. Hasil pengujian pada DSP TMS320C6747 buatan Texas Instrument dapat berjalan hingga frekuensi sampling 8 kHz pada panjang FFT 64.

## Bab V Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan implementasi *Automatic Gain Control* pada modem OFDM dalam jangkauan frekuensi audio dapat disimpulkan *Automatic Gain Control* dapat mengatasi fluktuasi sinyal suara yang diterima setelah melewati kanal terutama dalam penggunaan modulasi yang cukup besar seperti 64 QAM. Hasil simulasi menunjukkan kemampuan *Automatic Gain Control* dengan metode ini mampu secara efektif memperbaiki performa suara pada walaupun dari sisi jumlah bit error masih menunjukkan hasil yang kurang baik terhadap variasi frekuensi offset, panjang FFT dan variasi frekuensi sampling. Selanjutnya pada simulasi ini efek ICI juga akan semakin besar jika jarak antar *subcarrier* semakin kecil, sehingga performa *Automatic Gain Control* yang paling optimal yaitu pada frekuensi sampling 8 kHz dengan panjang FFT 64.

### 5.2. Saran

*Automatic Gain Control* dengan metode RMS ini telah cukup baik pada data rate 8 kbps dengan kualitas suara yang baik pula, tetapi masih sangat rentan pada perubahan yang terjadi pada kanal. Untuk penelitian selanjutnya mengenai *Automatic Gain Control* pada sistem OFDM dapat mengembangkan suatu metoda yang dapat mengatasi hal tersebut di atas.

## Daftar Pustaka

- [1] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile BWA Systems-Amendment 2 and Corrigendum 1. 2005.
- [2] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. 2004.
- [3] I. C. Msadaa, F. Filali, and F. Kamoun. An Adaptive QoS Architecture for IEEE 802.16 Broadband Wireless Networks. To be published in Proc. Of MASS 2007, 2007.
- [4] J. Chen, W. Jiao, and H. Wang. A Service Flow Management Strategy for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems in TDD Mode. In Proc. of ICC2005, 2005.
- [5] D. Cho, J. Song, M. Kim, and K. Han. Performance Analysis of IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Network. In Proc. of DFMA'05, pp. 130-137, 2005.
- [6] K. Wongthavarwat and A. Ganz. Packet Scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems. International Journal of Communication systems, 16:8196, 2003.
- [7] A. Sayenko, O. Alanen, J. Karhula, and T. Hämäläinen. Ensuring the QoS requirements in 802.16 Scheduling. In Proc. ofMSWIM 2006, pp. 108-117, 2006.
- [8] A. E. Xhafa, S. Kangude, and X. Lu. MAC performance of IEEE 802.16e. In Proc. of VTC-2005-Fall, vol. 1, pp. 685-689, 2005.
- [9]<http://elchusany.blogspot.com/2011/03/ofdm-orthogonal-frequency-division.html>
- [10] Rianto, Perancangan Carrier recovery pada Modem OFDM dalam range frekuensi radio.2009.ITB