

# Perancangan MMSE Equalizer dengan Modulasi QAM Berbasis Perangkat Lunak

Winda Aulia Dewi<sup>1</sup>, Yoedy moegiharto<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Telekomunikasi, <sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Telekomunikasi  
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi  
Kampus ITS, Surabaya 60111  
e-mail : [winda\\_denok@yahoo.com](mailto:winda_denok@yahoo.com)

## ABSTRAK

Dalam proyek akhir ini dibuat sebuah *software* equalizer MMSE (*Minimum mean Square Error*) menggunakan modulasi QAM dengan tujuan untuk mengurangi ISI dan *noise* pada sinyal yang dikirimkan ke penerima. Kinerja dari equalizer MMSE dapat diketahui melalui grafik BER yang dihasilkan. Diharapkan *software* ini dapat menjadi acuan bagi para perancang equalizer pada sistem telekomunikasi .

Hasil dari proyek akhir ini berupa grafik BER yang menunjukkan kinerja dari sebuah equalizer. Untuk kanal *multipath* ht, nilai BER  $10^{-3}$  dihasilkan dengan Eb/No sebesar 13,2 dB. Untuk kanal *multipath* dengan kecepatan 30 Km, nilai BER  $10^{-3}$  pada Eb/No sebesar 11 dB. Untuk kanal *multipath* dengan kecepatan 50 Km, nilai BER  $10^{-3}$  pada Eb/No sebesar 15 dB.

**Kata Kunci :** QAM, equalizer, ISI, *multipath*

## 1. PENDAHULUAN

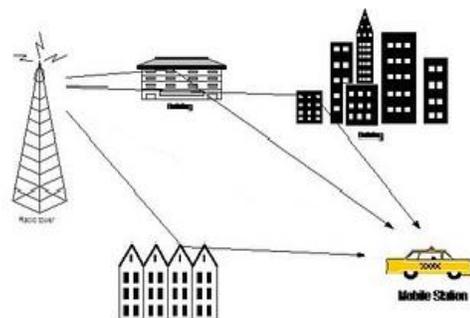
Teknologi yang semakin maju, menyebabkan pemakaian frekuensi tinggi menggunakan gelombang radio semakin meningkat. Kemajuan teknologi juga menyebabkan munculnya bangunan-bangunan baru yang menjulang tinggi pada daerah urban, hal ini dapat mengakibatkan terganggunya sistem telekomunikasi nirkabel pada khususnya. Salah satu gangguan yang terjadi adalah *multipath* (lintasan jamak). *Multipath* merupakan gangguan yang terjadi saat sinyal yang dipancarkan memiliki lintasan yang berbeda akibat adanya pantulan, difraksi dan hamburan untuk sampai ke penerima.

Salah satu efek dari fenomena *multipath* adalah gangguan yang disebut dengan *Inter Symbol Interference* (ISI), yang dapat menyebabkan kesalahan penerjemahan bit pada penerima. Untuk menghilangkan ISI dapat dilakukan dengan memberikan filter pada penerima, filter yang biasa digunakan adalah equalizer. Seperti diketahui bahwa gangguan pada kanal tidak hanya ISI, melainkan juga terdapat *noise*. Oleh karena itu, pada proyek akhir ini dibuat sebuah *software* simulasi equalizer dengan algoritma MMSE (*Minimum Mean Square Error*) yang dapat menghilangkan ISI sekaligus mengatasi gangguan *noise* yang ditimbulkan pada kanal.

## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1 Multipath

*Multipath* merupakan suatu bentuk gangguan yang timbul ketika sinyal memiliki lebih dari satu jalur dari pemancar ke penerima. Sebagian dari sinyal yang dipancarkan dapat langsung menuju ke penerima, sedangkan bagian sinyal lain terpantul lebih dahulu oleh penghalang. Hal ini menyebabkan jarak tempuh sinyal yang memantul akan semakin jauh serta sinyal yang dipancarkan mengalami penundaan waktu menuju ke penerima.



Gambar 1. Kanal *Multipath*

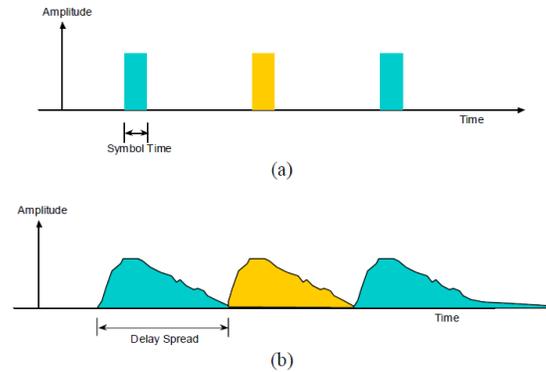
Adanya objek yang menyebabkan pantulan pada saluran transmisi mengakibatkan berkurangnya daya sinyal pada amplitudo dan fasa yang sampai di penerima, hal ini biasanya disebut dengan peristiwa *fading* atau pelemahan. *Multipath* tidak hanya mengakibatkan pelemahan sinyal tetapi juga dapat mengakibatkan penguatan pada sinyal yang diakibatkan adanya penjumlahan sinyal yang diterima secara bersamaan. Propagasi *multipath* juga menyebabkan terjadinya penerimaan sinyal informasi yang berulang dengan waktu yang berbeda, hal ini dikenal dengan sebutan *intersymbol interference* (ISI). Propagasi *multipath* menjadikan komponen sinyal yang terpancar mengalami lintasan langsung (LOS) yaitu sinyal langsung terpancar dari pemancar ke penerima tanpa halangan maupun lintasan tidak langsung yaitu mengalami pantulan, pembiasan dan hamburan oleh kanal terlebih dahulu.

Pada umumnya efek *multipath* ini akan menyebabkan terjadinya *delay* pada sinyal yang dikirimkan sesuai dengan banyaknya *multipath*, banyaknya *multipath* pada suatu sistem dinamakan dengan *path*.

## 2.2 ISI (Intersymbol Interference)

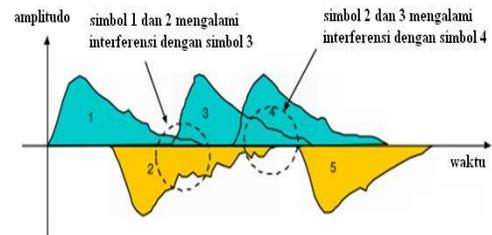
Efek lain dari fenomena *multipath* adalah terjadinya ISI (*Inter Symbol Interference*) yang dapat menyebabkan kesalahan pembacaan bit pada penerima. ISI merupakan suatu bentuk gangguan pada sebuah sinyal dimana simbol yang satu akan mengganggu simbol yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena pantulan sinyal (refleksi) yang menyebabkan penerimaan sinyal informasi berulang dengan waktu yang berbeda (*delay*) [2].

Pada gambar 2 ditunjukkan terjadinya ISI dimana pada gambar (a) menunjukkan ilustrasi data yang dikirimkan dan pada gambar (b) menunjukkan data yang diterima. Terlihat bahwa data yang diterima mengalami pelebaran energi akibat adanya *delay* dari saluran transmisi. Dimana keberadaan ISI ini sangat tidak diperlukan seperti layaknya *noise* yang dapat mengakibatkan komunikasi kurang baik untuk diandalkan.



**Gambar 2.** (a) Data yang dikirim  
(b) Data yang diterima

Untuk menghilangkan gangguan tersebut, salah satu caranya adalah dengan membuat jajaran filter yang nilai koefisien-koefisiennya harus direncanakan terlebih dahulu. Dibawah ini ditunjukkan bagaimana pelebaran sinyal seperti diatas dapat mengakibatkan dampak yang buruk pada sinyal. Gambar 3. menunjukkan sinyal yang dikirimkan mengalami banyak peristiwa pada kanal yang mengakibatkan sinyal tersebut tercampur dengan noise dan mengalami ISI sehingga pada saat diterima simbol-simbol melebar dan mengganggu simbol yang lain.



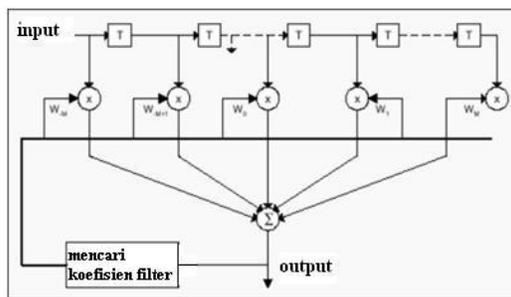
**Gambar 3.** Intersymbol Interference

## 2.3 Equalizer

Equalizer merupakan alat yang digunakan untuk memperbaiki data yang rusak akibat distorsi kanal. Equalizer merupakan filter digital yang dipasang pada sisi penerima yang bertujuan agar sinyal yang masuk pada sisi penerima tidak lagi berupa sinyal yang mengalami interferensi. Untuk kanal komunikasi yang karakteristiknya tidak diketahui, filter di penerima tidak dapat di desain secara langsung. Pada beberapa kanal, equalizer dibutuhkan untuk menghilangkan ISI yang disebabkan oleh distorsi pada kanal. Ada beberapa macam jenis equalizer, diantaranya :

1. **Maximum Likelihood (ML) Sequence Detection**, optimal namun tidak ada dalam praktek.
2. **Linear equalization**, tidak begitu optimal namun sangat sederhana.
3. **Non-Linear equalization**, digunakan untuk beberapa jenis ISI.

Linear equalization sangat mudah diimplementasikan dan sangat efektif untuk kanal yang tidak mengandung ISI (seperti kanal dalam kabel telephone) maupun kanal yang mengandung ISI (seperti kanal wireless). Kebanyakan linear equalizer diimplementasikan sebagai linear transversal filter



Gambar 4. Struktur equalizer

### 3. PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Pembuatan equalizer

Dalam pembuatan equalizer yang terpenting adalah respon dari equalizer harus memiliki respon yang sama dengan kanal hanya saja memiliki nilai yang berlawanan (invers).

Respon dari equalizer tergantung dari nilai-nilai koefisien dari jajaran filter yang dibuat, untuk mendapatkan respon yang equalizer yang merupakan invers dari kanal maka perlu untuk menentukan dengan benar nilai-nilai koefisien filter.

Untuk menentukan nilai-nilai koefisien dengan benar maka diperlukan bantuan dari matrik toeplitz. Dan koefisien filter didapat dari mengalikan nilai invers dari matrik toeplitz dengan kanal dan dalam pembuatan equalizer, tap equalizer  $\geq$  path multipath.

Pada kanal multipath (ht), koefisien path didefinisikan dengan nilai [0.2 0.9 0.3]

1.4400	0.4500	0.0600
0.4500	1.4400	0.4500
0.0600	0.4500	1.4400

Merupakan bentuk matrik toeplitz untuk 3 tap equalizer

0.7726	-0.2564	0.0479
-0.2564	0.8547	-0.2564
0.0479	-0.2564	0.7726

Merupakan bentuk invers matrik toeplitz untuk 3 tap equalizer

Setelah mendapatkan nilai matrik toeplitz dan invers matrik toeplitz maka selanjutnya melakukan proses perkalian antara invers matrik toeplitz dengan matrik "d" untuk mencari koefisien filter pada equalizer. Dimana matrik "d" merupakan kebalikan dari nilai matrik kanal.

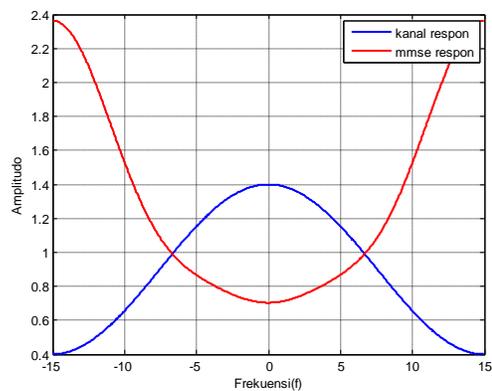
$$\text{Koefisien filter} = \text{invers matrik toeplitz} \times \text{matrik d}$$

#### Koefisien 3 tap equalizer

$$\begin{bmatrix} 0.7726 & -0.2564 & 0.0479 \\ -0.2564 & 0.8547 & -0.2564 \\ 0.0479 & -0.2564 & 0.7726 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.9 \\ 0.2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0106 \\ 0.6410 \\ -0.0619 \end{bmatrix}$$

Dari hasil perkalian diatas didapatkan nilai koefisien 3 tap filter Equalizer MMSE yaitu 0.0106 0.6410 -0.0619

Setelah mendapatkan koefisien filter dari equalizer, selanjutnya dilakukan perbandingan antara respon equalizer dengan respon kanal.

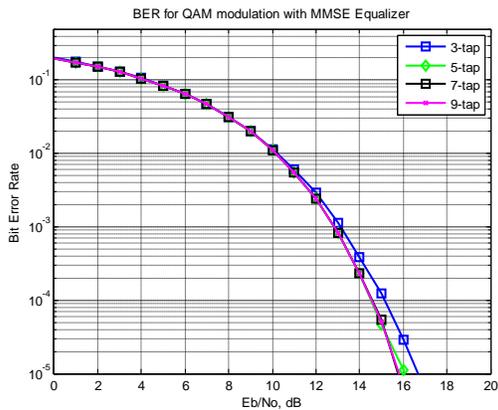


Gambar 5. Respon kanal vs respon 7 tap equalizer

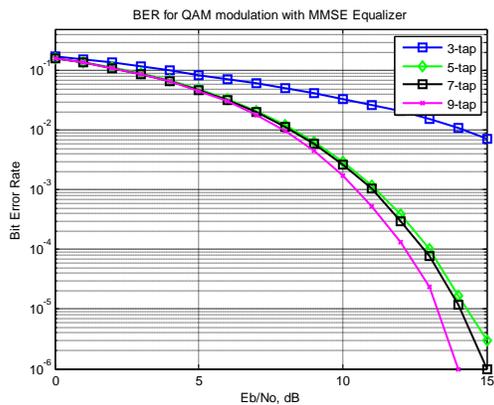
Selanjutnya adalah menentukan nilai BER dari equalizer yang telah dibuat. BER merupakan perbandingan error bit yang diterima dengan jumlah bit yang dikirimkan.

#### 4. BER EQUALIZER

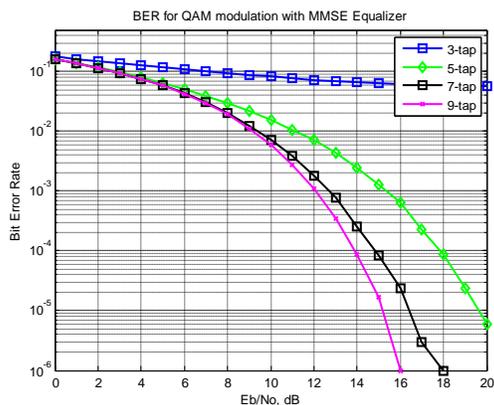
##### Modulasi 4QAM



Gambar 6. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (ht)

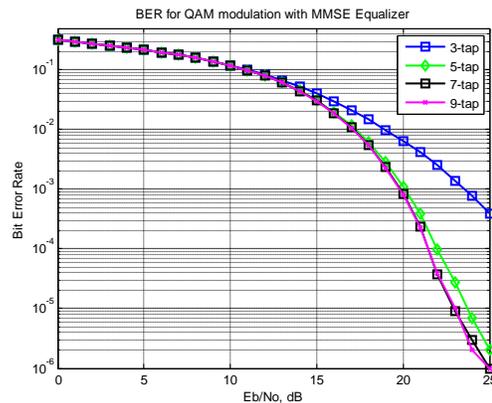


Gambar 7. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (rayleigh) dengan kecepatan 30 km/jam

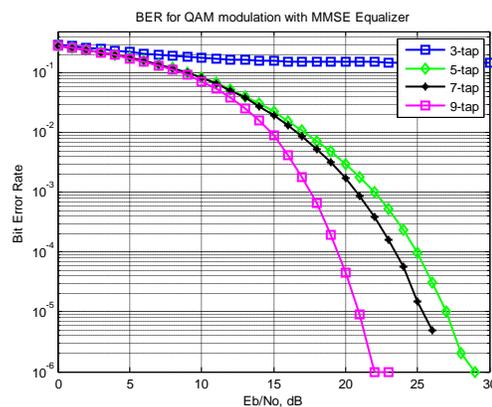


Gambar 8. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (rayleigh) dengan kecepatan 50 km/jam

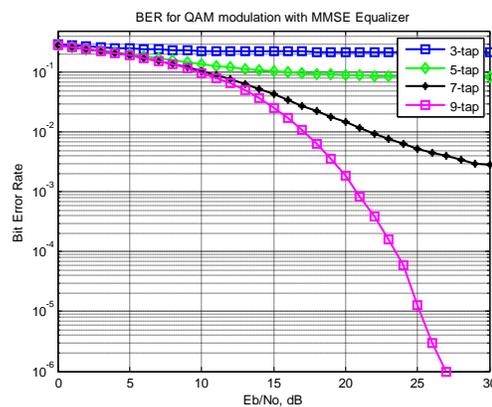
##### Modulasi 16QAM



Gambar 9. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (ht)



Gambar 10. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (rayleigh) dengan kecepatan 30 km/jam



Gambar 11. BER equalizer MMSE pada kanal multipath (rayleigh) dengan kecepatan 50 km/jam

Dari grafik diatas dapat di analisa bahwa baik tidaknya nilai BER yang didapat dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti jumlah tap yang

digunakan, nilai  $E_b/N_0$  dan kecepatan yang digunakan oleh pengguna.

Dalam perancangan equalizer, untuk menghasilkan nilai BER yang baik harus ditentukan terlebih dahulu nilai tap yang digunakan. Semakin besar jumlah tap, maka semakin baik pula nilai BER-nya. Dapat diketahui bahwa nilai BER yang baik pada kanal *multipath 3 path* minimal berada pada 5 tap.

$E_b/N_0$  merupakan perbandingan antara besar daya sinyal yang dikirimkan dibandingkan dengan *noise*. Semakin besar nilai  $E_b/N_0$  maka semakin besar pula daya sinyal yang dikirimkan, sehingga semakin baik pula nilai BER yang didapat. Perubahan kecepatan pengguna akan mengubah nilai kanal pada tiap elemen *path*-nya. Semakin besar kecepatan yang digunakan maka semakin buruk BER yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya.

Penggunaan modulasi pada perhitungan nilai BER juga berpengaruh. Untuk modulasi 4QAM menghasilkan BER yang lebih bagus dari 16QAM, akan tetapi bit rate dari 16QAM lebih besar dari pada bit rate 4QAM karena 16 QAM mengubah 4 bit menjadi 1 simbol, sedangkan 4QAM mengubah 2 bit menjadi 1 simbol.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data pada tugas akhir ini maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Banyaknya tap yang digunakan dalam pendesainan equalizer berpengaruh pada respon equalizer dan BER yang dihasilkan. Semakin banyak tap yang digunakan, respon equalizer dan BER yang dihasilkan semakin bagus.
2. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh  $E_b/N_0$ , semakin besar  $E_b/N_0$  berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.
3. Kecepatan *user* yang digunakan juga berpengaruh pada respon equalizer dan nilai BER yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan *user*-nya maka semakin buruk respon equalizer dan nilai BER yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Langton charan, “*Intersymbol Iinterference*”, intuitive guide to principles of communication, 2002.
- [2] Chandran Vijaya, “*Equalizer Simulation*”, Paper, EECS 862 Project II.
- [3] Department of Electrical Engineering, “*Channel Equalization*”, ee 420 Design in Communication, University of Washington, 2009.

- [4] <http://www.dsplog.com/2010/01/24/ber-for- bpsk-isi-channel-mmse-equalizer/>
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/QAM/>
- [6] Smalley david, “*Equalization Concepts*”, Texas instruments, Atlanta, Oktober 1994.