

Analisis Penanggulangan Inter Carrier Interference di OFDM Menggunakan Zero Forcing Equalizer

Rizky Wahyudi^{1,*}, Arfianto Fahmi¹, Afief Dias Pambudi¹

¹ Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

* Email: rizkywahyudi@students.telkomuniversity.ac.id

Abstrak. OFDM memiliki efisiensi spektral yang sangat tinggi dan tahan terhadap *frequency selective fading*. Teknologi ini memang mempunyai banyak kelebihan tetapi disisi lain juga memiliki kekurangan. Salah satu kekurangan OFDM adalah rentan terhadap *carrier frequency offset* (CFO) yang disebabkan respon kanal. Hal ini menyebabkan terjadinya *inter carrier interference* (ICI) sehingga menyebabkan kehilangan ortogonalitas. Penelitian ini membahas metode penanggulangan ICI menggunakan estimasi matriks kanal dan ekualisasi zero forcing (ZF). Estimasi matriks kanal dilakukan dengan estimasi nilai CFO setelah itu akan dibuat invers matriks kanal yang akan menjadi respon equalizer. Dari hasil simulasi menggunakan 128 subcarrier dan CFO ternormalisasi 0,15 didapatkan ZF memberikan faktor perbaikan sebesar 2 dB dengan BER target 10^{-3} . Peningkatan performansi disebabkan adanya ekualisasi pada saat proses penerimaan sinyal sehingga error dapat diatasi.

Kata Kunci : OFDM, ICI, CFO, *Zero forcing*

1. Pendahuluan

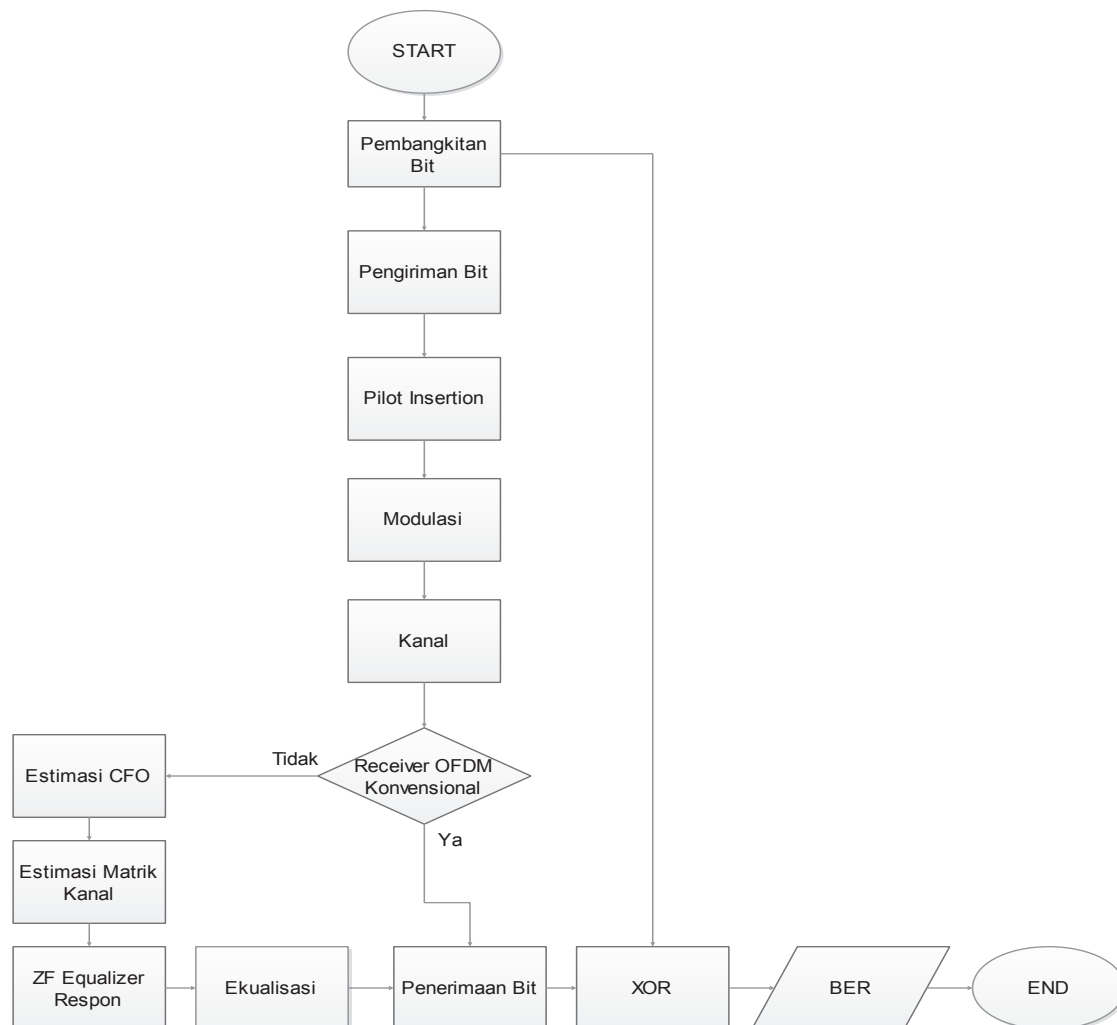
Orthogonal frequency division multiplexing merupakan teknologi modulasi multicarrier yang memungkinkan informasi untuk ditransmisikan dalam beberapa frekuensi carrier. OFDM banyak sekali diterapkan dalam beberapa teknologi utama seperti LTE (Long Term Evolution), Wimax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), Digital Broadcasting, dan lain-lain. Sehingga membuat OFDM sebagai teknologi kunci masa depan.

OFDM mempunyai beberapa kekurangan seperti PAPR (Peak Average Power Ratio) dan rentan CFO (carrier frequency offset). Adanya CFO membuat penerima akan sulit mendeteksi sinyal OFDM. Efek ini menyebabkan frequency shifting yang akan membuat hilangnya ortogonalitas sinyal OFDM. Sinyal OFDM yang rusak sangat sulit untuk dideteksi oleh penerima.

Frequency shifting atau disperse frekuensi dalam propagasi kanal nirabel menyebabkan pergeseran lebar pita frekuensi. Hal ini tidak masalah jika terjadi di teknologi FDM konvensional karena dapat diatasi dengan memberikan guard band tetapi menjadi perhatian khusus jika terjadi di OFDM. OFDM merupakan teknologi yang mempunyai efisiensi spektral yang sangat tinggi salah satu cara untuk mencapai hal tersebut adalah dengan cara menghilangkan guard band setiap carrier. Tidak adanya guard band membuat OFDM sangat rentan terhadap disperse frekuensi sehingga antar subcarrier akan saling interferensi, hal ini disebut ICI.

ICI akan menyebabkan menurunnya performansi OFDM. Oleh karena itu dalam makalah ini akan dianalisis penggunaan ZF equalizer dalam menangani ICI.

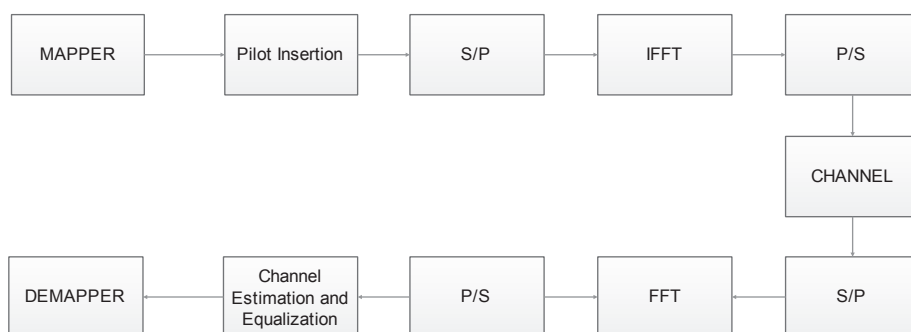
2. Teori dan Tahap Perancangan



Gambar 21. Flowchart simulasi OFDM *zero forcing*

2.1 Blok Sistem OFDM dengan *Zero forcing*

Pada simulasi ini proses pengiriman bit informasi dilakukan menggunakan sistem OFDM. Nilai parameter eb/no akan didapatkan melalui simulasi pengiriman bit. Proses pengiriman akan dilakukan melalui 4 tahap yaitu pembangkitan simbol OFDM, transmisi kanal noise dan interferensi, proses estimasi dan ekualisasi dan proses deteksi. Diagram simulasi ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 22. Blok Sistem OFDM dengan Zero forcing

Gambar 2 merupakan blok sistem OFDM dengan penambahan estimasi kanal dan ekualisasi. Proses simulasi dilakukan seperti gambar 2 dari awal pengiriman bit sampai penerimaan bit dengan parameter OFDM yang telah ditentukan.

2.1.1 Pembangkitan Simbol OFDM

Tahap ini akan membangkitkan bit informasi yang nantinya akan masuk ke blok mapper untuk menghasilkan simbol modulasi digital. Setelah itu akan masuk ke blok serial to parallel yang berfungsi mengubah serial stream menjadi parallel kemudian ke IFFT yang akan membuat simbol OFDM sehingga akan saling orthogonal informasi satu dan lainnya.

2.1.2 Kanal Propagasi

Dalam simulasi tugas akhir ini maka kanal yang akan dilewati oleh simbol OFDM yaitu noise dan intercarrier interference

a. Adaptive White Gaussian Noise (AWGN)

AWGN merupakan noise yang bersifat menambah sinyal yang berada di semua spectral frekuensi dan terdistribusi secara Gaussian[4]. Mean AWGN sama dengan nol dan standar deviasi sama dengan satu. Kemunculan noise ini bersifat random sesuai dengan PDF sebagai berikut :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Dimana:

- $p(x)$ = probabilitas kemunculan derau
- σ^2 = standar deviasi
- m = harga rata-rata (*mean*)
- x = variabel (tegangan atau daya sinyal yang muncul)

b. Inter Carrier Interference

Intercarrier interference terjadi akibat adanya *carrier frequency offset*, sehingga menyebabkan sinyal OFDM kehilangan ortogonalitasnya. Parameter yang menunjukkan seberapa besar pengaruh pergeseran frekuensi disebut frekuensi offset[4]. Nilai frekuensi offset menyebabkan sinyal pada receiver mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$y(n) = x(n)e^{j\frac{2\pi\epsilon n}{N}} + w(n) \quad (2)$$

$y(n)$ = sinyal yang diterima pada subcarrier ke-n

$x(n)$ = sinyal yang dikirim pada subcarrier ke-n

ϵ = frekuensi offset yang dinormalisasi

$w(n)$ = noise AWGN

Dalam domain frekuensi pengaruh interferensi terhadap simbol OFDM mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$Y(k) = Y(k)S(0) + \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} X(l)S(l-k) + n_k, \text{ dimana } k = 1, 2, 3, \dots, N-1 \quad (3)$$

Pengaruh interferensi pada simbol OFDM dapat dituliskan dengan persamaan :

$$ICI(n) = \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} X(l)S(l-k) \quad (4)$$

$X(l)$ = Daya subcarrier ke-l yang menginterferensi subcarrier ke-k

$S(l-k)$ = koefisien ICI

Nilai $S(l-k)$ dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$S(l-k) = \frac{\sin(\pi(l+\epsilon-k))}{N \sin(\frac{\pi(l+\epsilon-k)}{N})} e^{j\pi(1-\frac{1}{N})(l+\epsilon-k)} \quad (5)$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan semakin besar nilai ϵ maka nilai koefisien interferensi akan besar juga[5].

2.1.3 Estimasi Kanal dan Ekualisasi

Secara garis besar blok sistem OFDM menggunakan ZF equalizer hampir sama dengan OFDM konvensional, tetapi ada penambahan blok yaitu ZF equalizer dan estimasi kanal[2][3].

a. Estimasi Kanal

Estimasi kanal sangat penting karena respon kanal akan diprediksi menggunakan pilot simbol, sehingga matriks kanal bias diketahui[2][3]. Secara matematis matriks kanal dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut : $y = Hx + v$ (6)

Simbol pilot yang dikirim akan menjadi referensi system dalam menentukan respon kanal yang diakibatkan CFO. Jika asumsi respon kanal dalam 1 frame dianggap sama maka jumlah pilot simbol terdapat 1 dalam setiap framenya. Dalam estimasi kanal, metode yang kan digunakan adalah comb type, dimana setiap bagian subcarrier akan direservasi untuk dijadikan pilot. Dalam menentukan CFO estimasi dapat menggunakan rumus maximum likelihood dibawah ini[7].

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left[\frac{\sum_{k=0}^{N-1} \text{im}[Y_2(k)Y_1^*(k)]}{\sum_{k=0}^{N-1} \text{re}[Y_2(k)Y_1^*(k)]} \right] \quad (7)$$

Dimana,

ε =estimasi CFO ternormalisasi

Y_1 =simbol pilot yang dikirim

Y_2 =simbol pilot yang terkena ICI

b. Proses Ekualisasi

Proses equalization merupakan proses mencari respon agar kanal dapat diatasi. Pada proses estimasi kanal maka akan didapatkan matrik respon kanal. Menggunakan ZF equalizer maka akan didapatkan kebalikan respon kanal yaitu $1/H(z)$ [1][5]. Proses tahapan estimasi dan equalization akan dilakukan secara terus menerus , maka nantinya akan didapatkan nilai bit error rate terhadap fungsi eb/no dari nilai 0 sampai dengan 20 dB.

2.1.4 Sinyal OFDM pada receiver

Sinyal OFDM yang telah dikirim akan dideteksi menggunakan blok receiver OFDM. Blok receiver OFDM merupakan kebalikan proses dari blok transmitter, sehingga output dari receiver merupakan bit informasi yang dikirim pada transmitter.

Proses pendeteksian sinyal OFDM dimulai dengan perangkat down converter. Setiap perangkat akan mempunyai noise thermal yang menyebabkan perubahan sinyal yang diterima. Setelah itu masuk ke demodulator FFT, output sinyal tersebut akan dideteksi menggunakan maximum likelihood dengan tujuan mapping ke bit informasi awal[5]

Bit yang dikirimkan akan dibandingkan dengan yang diterima, sehingga nantinya akan didapatkan nilai bit error rate. Proses ini akan diulang dari nilai eb/no 0 sampai dengan 20 dB.

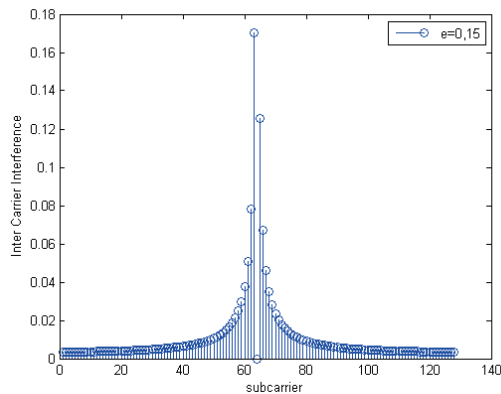
2.2 Parameter Simulasi

Spesifikasi OFDM yang akan digunakan adalah IEEE 802.16e dengan parameter yang sudah ditentukan sehingga parameter simulasi yang akan disimulasikan sebagai berikut [6]:

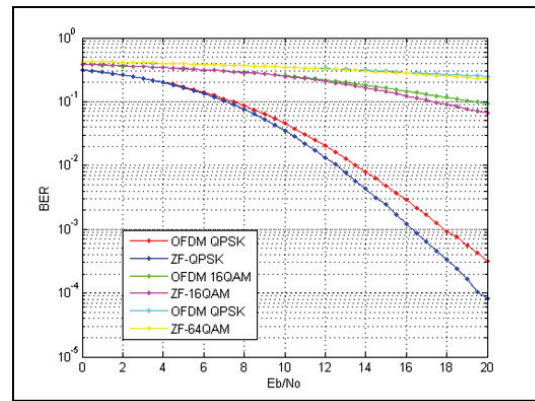
Table 1. Parameter Simulasi

Parameter	Spesifikasi	Parameter	Spesifikasi
Jumlah bit	10^6 bit	Frekuensi offset ternormalisasi	0.15
Jumlah Subcarrier	128	Spasi subcarrier	10,9 kHz
Mapper	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	Estimasi kanal	Comb Type
Frekuensi kerja	2,3 GHz	Eb/No	0-20 dB

3. Analisis dan Hasil Simulasi



Gambar 0 Koefisien ICI $e=0,15$



Gambar 4 Performansi OFDM dan OFDM dengan Zero forcing

Gambar 3 menunjukkan terjadinya interferensi yang disebabkan oleh semua subcarrier terhadap subcarrier ke-63. Interferensi paling besar disebabkan oleh subcarrier terdekat sedangkan semakin jauh jarak antar subcarrier maka interferensi semakin kecil. Interferensi semakin besar jika nilai CFO ternormalisasi semakin tinggi, karena kesalahan frekuensi yang semakin besar menyebabkan interferensi antar subcarrier yang semakin besar pula.

Gambar 4 menunjukkan terjadi penambahan performansi jika menggunakan *zero forcing* equalizer. QPSK dengan BER target 10^{-3} mempunyai penambahan performansi sebesar 2 dB, sedangkan 16 QAM dan 64 QAM masing-masing 2,5 dB dan 2 dB. Proses ekualisasi dapat mengembalikan penempatan simbol modulasi yang tersebar akibat ICI. Ekualisasi dilakukan dengan mengkalikan respon kanal dan simbol output FFT. Terlihat dengan adanya ekualisasi ZF terjadi peningkatan performansi, hal ini membuktikan bahwa skema ini cukup baik untuk mengatasi ICI di OFDM.

4. Kesimpulan

Inter carrier interference berpengaruh besar dalam performansi OFDM, tetapi dengan penambahan *zero forcing* equalizer ICI dapat diatasi terbukti dengan peningkatan performansi sebesar 2 dB. Estimasi kanal menjadi hal yang penting karena dapat menentukan respon equalizer sehingga untuk meningkatkan performansi ini dilakukan dengan menggunakan algoritma estimasi CFO yang handal.

5. Daftar Referensi :

- [1] Goldsmith, A., *Wireless Communication*. London: Cambridge University Press, 2005
- [2] Ishizu, K., Ohno, K., Itami, M. & Nakamura, A., *A Study on Complexity Reduction of Zero-forcing ICI Canceller*, Tokyo, s.n, 2010
- [3] Nakamura, A., Itami, M. & Ohno, K., *Zero-Forcing ICI Canceller Using Iterative Detection*. Tokyo, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). 2014.
- [4] Rappaport, T. S., *Wireless Communication : Principles and Practice*. s.l.:Prentice Hall, 1996
- [5] Xiao, Y., *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation and Inter-Carrier Interference Cancellation*, s.l.: Louisiana State University, 2003.
- [6] Gray, D., *Mobile WiMAX – Part I : A Technical Overview and Performance Evaluation*, s.l.: Wimax Forum, 2006
- [7] Kumar, B.Sathish., Kumar, K.R.Shankar., R.Radhakrishnan., *An Efficient Inter Carrier Interference Cancellation Schemes for OFDM Systems*, Coimbatore, (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security, 2009
- [8] Diliyanzah, Asri, 2014. *Analisis penanggulangan inter-carrier interference pada Teknologi ofdm menggunakan metode extended kalman Filter*, Bandung, Universitas Telkom