

Analisa Kinerja Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Berbasis Perangkat Lunak

Kusuma Abdillah, dan Ir Yoedy Moegiharto, MT

Politeknik Elektro Negeri Surabaya – Institut Teknologi Sepuluh November (PENS-ITS)

Abstrak

Ada beberapa metode untuk mengatasi akan kebutuhan kanal sistem komunikasi dan efek dari *multipath fading*, salah satu diantaranya yaitu sistem *Orthogonal Division Multiplexing* (OFDM). Sistem OFDM merupakan perkembangan dari teknik Frequency Division Multiplexing (FDM). Perbedaan yang mendasar dari sistem OFDM dan FDM yaitu terletak pada frekuensi subcarrier, pada sistem OFDM frekuensi *sub-carriernya* diperbolehkan untuk saling overlapping sehingga dapat menghemat bandwidth kanal sistem komunikasi, dan kapasitas kanal meningkat. Dengan menggunakan sistem OFDM ini tidak hanya kapasitas kanal yang dapat ditingkatkan tetapi juga dapat mengurangi efek dari *multipath fading*.

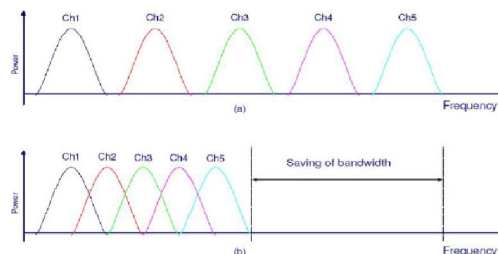
Dalam proyek akhir ini dilakukan penganalisaan kinerja OFDM berbasis perangkat lunak. Jenis modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) mempunyai nilai BER yang lebih baik dibanding dengan *Phase Shift Keying* (PSK). Dan pada kanal rayleigh delay 10 tap nilai BER dari OFDM dengan 64 *sub-carrier* mempunyai BER yang lebih baik dibanding dengan OFDM dengan 32 *sub-carrier*. OFDM dengan 64 *sub-carrier* pada kanal Rayleigh delay 10 tap hanya BPSK atau 2-QAM yang mencapai BER 10^{-3} dengan nilai E_b/N_0 30 dB. Untuk jumlah sub-carrier 32 tidak satupun yang mencapai BER 10^{-3} .

Kata kunci : OFDM, IFFT, FFT, Cyclic Prefix, Rayleigh Fading

1. Pendahuluan

OFDM (*Orthogonal Frquency Division Multiplexing*) merupakan teknik penransmisian data berkecepatan tinggi dengan menggunakan beberapa sinyal *carrier* secara parallel dalam pemodulasiannya. Sehingga data yang ditransmisikan akan mempunyai kecepatan yang lebih rendah. Teknik seperti ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sistem komunikasi.

Pada teknik transmisi OFDM setiap *sub-carrier* tidak ditempatkan berdasarkan bandwidth yang ada, tetapi *sub-carrier* tersebut disusun untuk saling *overlapping*. Jarak atau *space* antara *sub-carrier* diatur sedemikian rupa, sehingga antar *sub-carrier* mempunyai sifat yang *orthogonal*. Keorthogonalitasan diantara *sub-carrier* inilah yang menyebabkan munculnya istilah *Orthogonal Frquency Division Multiplexing*. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai dengan 50% [1]. Untuk pembentukan dan penguraian symbol OFDM dapat digunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT).

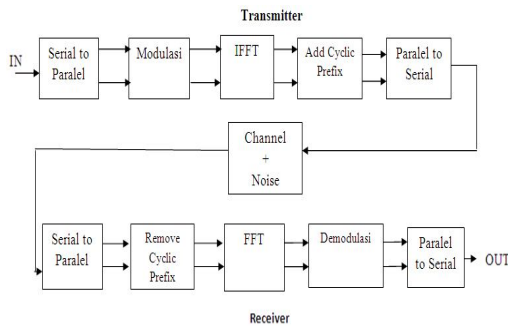


Gambar 1 Perbandingan FDM dengan OFDM [2]

OFDM merupakan teknik transmisi yang diterapkan pada sistem komunikasi digital. Data yang ditransmisikan berupa data serial biner berkecepatan tinggi yang telah di petakan dalam bentuk symbol, symbol tersebut yang mulanya serial kemudian dipecah atau dipisahkan menjadi bentuk parallel sehingga dihasilkan kecepatan data yang lebih rendah dibanding dengan data sebelumnya. Kemudian symbol tersebut dimodulasi oleh sejumlah sinyal *carrier* dalam beberapa subkanal. Dengan kata lain prinsip dasar dari OFDM menggunakan teknik transmisi *multicarrier* [3].

2. Sistem OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu subcarrier. Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada gambar 2.



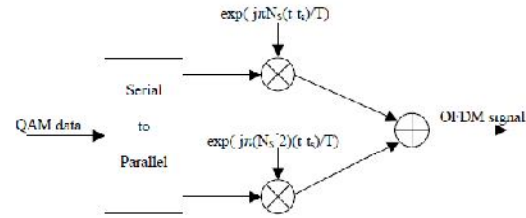
Gambar 2 Blok Diagram OFDM

Prinsip kerja dari *OFDM* dapat dijelaskan sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam IFFT untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*).

Setelah itu simbol OFDM ditambahkan *cyclic prefix* kemudian simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. Sinyal keluaran dari *transmitter* berupa sinyal yang saling *overlapping*, hal seperti ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai 50%. Kondisi *overlapping* ini tidak akan menimbulkan *interferensi* di karenakan telah memenuhi kondisi *orthogonal*. Pada *receiver*, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, pelepasan *cyclic prefix* kemudian konversi sinyal parallel dengan FFT setelah itu demodulasi, dan terakhir konversi parallel ke

serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

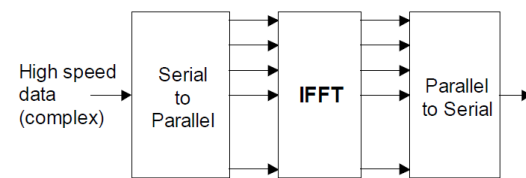
3. PROSES MULTICARRIER PADA OFDM



Gambar 3 OFDM Modulator [4]

Gambar diatas merupakan contoh modulator OFDM konvensional. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan data biner yang telah dipetakan dalam simbol QAM, selain QAM dapat menggunakan PSK dalam pemetaannya. Simbol tersebut dipecah dalam bentuk serial parallel dan dimodulasi oleh sinyal *sub-carrier* dengan frekuensi tertentu sehingga dihasilkan sinyal saling *orthogonal*. Kemudian semua sinyal tersebut ditambahkan sehingga dihasilkan simbol OFDM.

OFDM konvensional membutuhkan lebih banyak modulator jika menggunakan lebih banyak *sub-carrier*. Untuk mengatasi hal seperti itu dapat menggunakan prinsip dasar dari Inverse *Fast Fourier Transform* (IFFT). Untuk demodulatornya dapat menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).



Gambar 4 OFDM Modulator dengan IFFT

4. FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) DAN INVERSE FAST FOURIER TRANSFORM (IFFT)

Proses IFFT dan FFT merupakan kunci utama dalam OFDM. IFFT berfungsi sebagai pembuatan simbol (modulator) OFDM dan FFT sebagai pengurai dari simbol OFDM (demodulator) [3]. Untuk persamaan FFT dan IFFT dapat dituliskan sebagai berikut.

FFT:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots \dots \dots (1)$$

IFFT:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots \dots \dots (2)$$

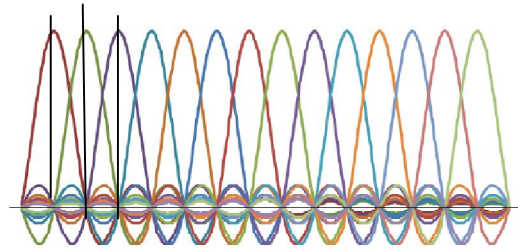
Tetapi pada OFDM sinyal inputan dari IFFT adalah domain waktu, hal seperti ini tidak masalah karena IFFT adalah sebuah konsep matematis yang tidak peduli apa yang dihasilkan dan seperti apa inputannya. Asalkan selama yang menjadi inputan berupa amplitudo-amplitudo dari beberapa sinusoida, IFFT akan menghasilkan suatu nilai dalam bentuk domain waktu [5].

5. ORTHOGONALITAS

Pada teknik OFDM masing-masing *sub-carrier* tidak disebar berdasarkan bandwidth yang ada, tetapi *sub-carrier* tersebut disusun saling *overlap*. Jarak atau *space* antara *sub-carrier* disusun sedemikian rupa, sehingga antar *sub-carrier* akan saling orthogonal. Dalam tiap *sub-carrier* dibedakan dengan sebuah simbol dan masing-masing simbol saling *orthogonal* atau tidak saling mempengaruhi, sebuah simbol dikatakan *orthogonal* dengan yang lain jika factor korelasinya adalah 0 .

Istilah orthogonal mengandung makna hubungan matematis antara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan menggunakan persamaan matematika dapat diekspresikan sebagai berikut, dua buah sinyal dapat dikatakan orthogonal jika memenuhi syarat:

Dimana $m \neq n$ dan dengan interval $a < t < b$

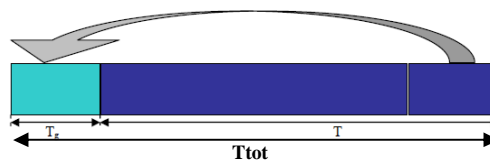


Gambar 5 Spektrum Sinyal OFDM

Telah diketahui bahwa suatu sinyal orthogonal meskipun saling *overlapping* mereka tidak saling menginterferensi. Dari gambar di atas jika ditarik suatu garis lurus maka nilai puncak dari suatu *sub-carrier* akan terhubung dengan nilai minimum dari *sub-carrier* yang ada di sebelahnya. Atau dapat dijelaskan bahawa energy pada tiap-tiap *sub-carrier* tidak berkorelasi dengan energy pada *sub-carrier* yang ada di dekatnya [6][7]. Dikarenakan oleh hal seperti itu, meskipun *sub-carrier* saling *overlapping* tidak akan terjadi interferensi.

6. Cyclic Prefix

Masalah utama dalam sistem komunikasi *wireless* adalah adanya suatu kanal *multipath*. Dalam kanal *multipath*, suatu sinyal dapat mengalami tundaan sehingga dapat menyebabkan *Intersymbol Interference (ISI)*. Untuk mengatasi hal itu, dapat menggunakan suatu *guard interval* yang telah diketahui dengan nama *cyclic prefix*. *Cyclic prefix* adalah salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditambahkan pada awal simbol OFDM [2]. Syarat agar tidak terjadi ISI yaitu durasi dari cyclic prefix harus lebih panjang dari durasi dari *delay multipath*. Alasan guard interval terdiri dari salinan dari akhir simbol OFDM adalah agar *receiver* nantinya mengintegrasikan masing-masing *multipath* melalui angka integer dari siklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDM dengan FFT [3].



Gambar 6 Cyclic Prefix Pada OFDM

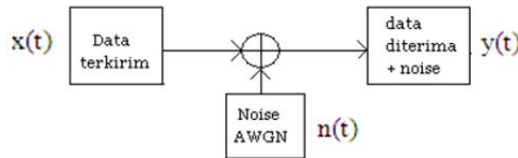
Dari gambar diatas dapat dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan dari simbol OFDM yaitu

$$T_{tot} = T + T_g \dots \dots \dots (4)$$

Dimana: T = Panjang simbol Ofdm tanpa cyclic prefix
 Tg = Panjang cyclic prefix
 Ttot = Total panjang simbol OFDM

7. KANAL ADDATIVE WHITE GAUSSIAN (AWGN)

Salah satu kanal yang dipakai pada simulasi ini adalah kanal AWGN (*Additive Gaussian Noise*)

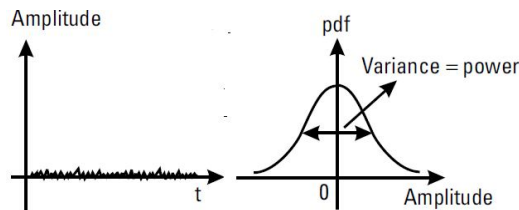


Gambar 7 Kanal AWGN

Sebuah sinyal yang dilewatkan melalui sebuah kanal dapat diasumsikan pada gambar di atas. Pada model ini, sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah *noise* acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal mendapat redaman selama proses transmisi melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$y(t) = x(t) + n(t) \dots \dots \dots (5)$$

Secara fisik proses *additive noise* berasal dari komponen elektronik dan beberapa *amplifier* (penguat) dari *receiver* pada suatu sistem komunikasi. Jika noise tersebut disebabkan oleh komponen elektronik dan *amplifier* dari *receiver*, maka dikarakteristikan sebagai *thermal noise* (noise yang disebabkan oleh suhu dari rangkaian itu sendiri). Noise AWGN merupakan noise yang terdistribusi dengan distribusi Gaussian yaitu dengan nilai mean = 0.

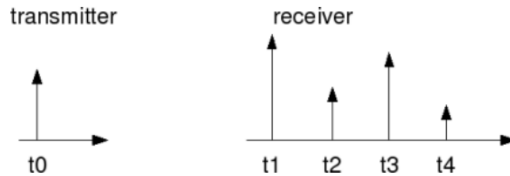


Gambar 8 Distribusi AWGN

8. KANAL RAYLEIGH

Dalam sistem komunikasi bergerak, perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda. Lintasan

yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi. Sinyal yang diterima oleh *receiver* yang melewati suatu kanal multipath merupakan jumlah superposisi dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat banyak lintasan (multipath) [8]. Pada kanal multipath mempunyai respon impuls yang bervariasi.



Gambar 9 Respon Impuls pada Kanal Multipath [9]

Karena rendahnya antena *receiver* dan adanya struktur bangunan yang mengelilingi *receiver*, menyebabkan fluktuasi yang cepat pada penjumlahan sinyal-sinyal menurut distribusi statistik yang disebut distribusi *Rayleigh* yang dikenal dengan *Rayleigh Fading* [8]. *Rayleigh fading* terjadi jika tidak ada jalur Line Of Sight (LOS) yang dominan antara transmitter dengan receiver [10]. *Rayleigh fading* dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini

$$h = h_{re} + jh_{im} \dots \dots \dots (6)$$

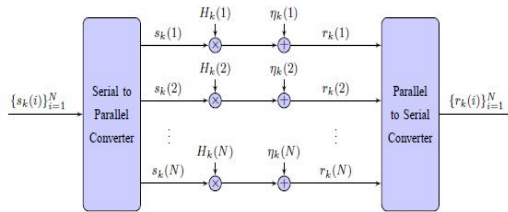
Dimana bagian h_{re} dan jh_{im} mempunyai nilai distribusi Gaussian dengan nilai mean = 0 [9].

Hasil sinyal pada receiver setelah melewati kanal tersebut dapat dipresentasikan seperti persamaan di bawah ini

$$y = hx + n \dots \dots \dots (7)$$

Dimana : y = Sinyal yang diterima
 h = *Rayleigh multipath fading*
 x = Sinyal terkirim
 n = Noise AWGN

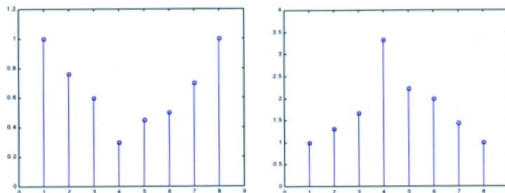
Dalam sistem komunikasi digital sinyal yang diterima oleh receiver merupakan hasil konvolusi dengan respon impuls kanal dalam domain waktu [6]. Dengan kata lain konvolusi dalam domain waktu merupakan perkalian dalam domain frekuensi. Dibawah ini merupakan gambar blok diagram OFDM yang melewati kanal multipath.



Gambar 10 Sistem Model OFDM Kanal Multipath dalam Domain Frekuensi [11]

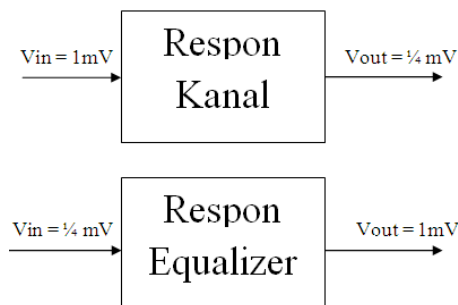
9. EQUALIZER

Untuk mendeteksi sinyal yang telah melewati suatu kanal multipath yaitu dengan cara menggunakan *equalizer* dalam domain frekuensi, *equalizer* dalam domain frekuensi terdiri dari perkalian kompleks untuk masing-masing *sub-carrier* [6]. Nilai ideal dari respon *equalizer* merupakan nilai *inverse* dari respon frekuensi dari suatu respon kanal atau dapat dikatakan membagi dengan respon kanal tersebut dalam domain frekuensi [6][11].



Gambar 11 Plot Bagian Kiri Respon Kanal dan Plot Bagian Kanan Respon *Equalizer* [6]

Dari gambar 2.18 dapat dijelaskan yaitu jika nilai respon kanal besar maka nilai respon *equalizer* kecil dan jika nilai respon kanal kecil nilai respon *equalizer* akan besar [5].



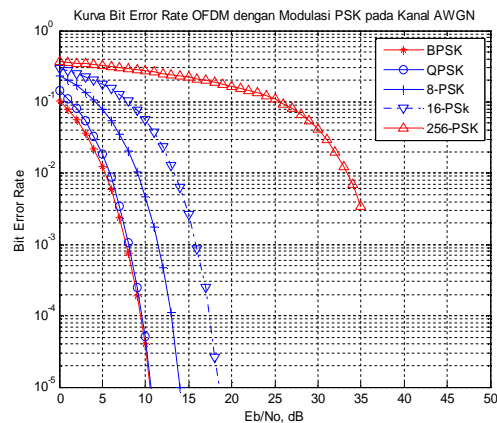
Gambar 12 Respon Kanal & Respon *Equalizer*

Misal suatu sinyal melewati suatu kanal yang belum diketahui responnya, ketika diinputkan suatu sinyal dengan tegangan 1 mV ternyata keluaran dari kanal tersebut bernilai 1/4 mV. Jadi nilai 1/4 ini merupakan nilai dari respon kanal

tersebut. Telah diketahui bahwa konvolusi dalam domain waktu merupakan perkalian dalam domain frekuensi, jadi nilai keluaran dari kanal merupakan perkalian dari sinyal input dengan respon kanal atau $1\text{mV} * \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \text{ mV}$. Untuk memulihkan sinyal tersebut telah dijelaskan bahwa harus menggunakan *equalizer* yang merupakan *inverse* dari respon kanal. Telah diketahui bahwa respon kanal adalah 1/4 berarti respon *equalizer* inverse dari 1/4 yaitu 4. Jika sinyal keluaran dari kanal dimasukkan sebagai inputan dari *equalizer* akan menghasilkan keluaran yaitu $\frac{1}{4} \text{ mV} * 4 = 1\text{mV}$

10. Hasil Simulasi

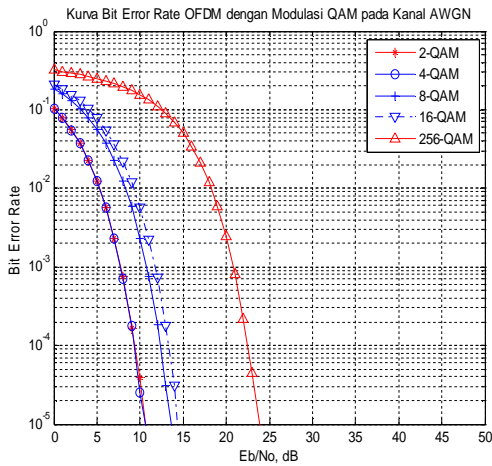
Dari gambar 13 digunakan 4 jenis modulasi PSK yaitu BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 256-PSK. Dari gambar tersebut dapat dianalisa bahwa untuk mencapai BER 10^{-3} , OFDM yang menggunakan BPSK dan QPSK membutuhkan E_b/N_0 paling sedikitnya yaitu 7 dB, OFDM yang menggunakan modulasi 8-PSK membutuhkan E_b/N_0 paling sedikitnya yaitu 12 dB, OFDM yang menggunakan modulasi 16-PSK membutuhkan E_b/N_0 paling sedikitnya yaitu 16 dB, dan yang terakhir OFDM yang menggunakan modulasi 256-PSK membutuhkan E_b/N_0 lebih dari 35 dB.



Gambar 13 BER OFDM – PSK Kanal AWGN

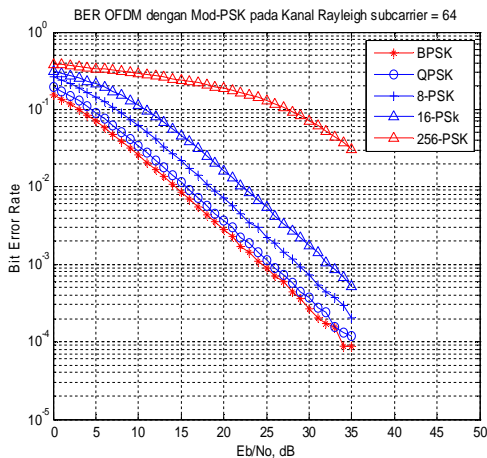
OFDM yang menggunakan modulasi QAM dapat dilihat pada gambar 14. Untuk mencapai BER 10^{-3} , OFDM dengan 2-QAM dan 4-QAM membutuhkan E_b/N_0 sama dengan pada BPSK atau QPSK yaitu 7 dB, OFDM dengan modulasi 8-QAM membutuhkan 11 dB, OFDM dengan modulasi 16-QAM membutuhkan 12 dB, dan

OFDM dengan modulasi 256-QAM membutuhkan 21 dB.

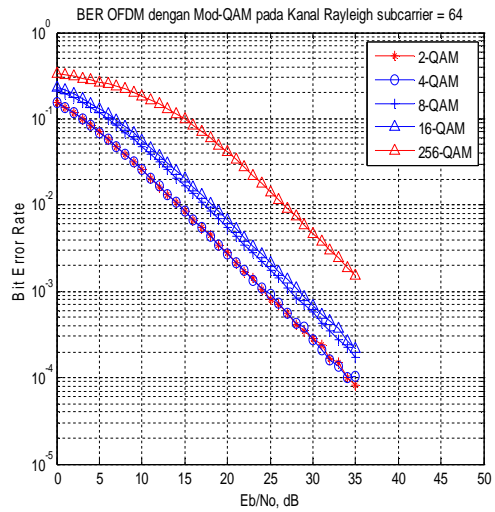


Gambar 14 BER OFDM – QAM Kanal AWGN

Dari gambar 15 dan 16 merupakan OFDM yang menggunakan modulasi PSK dan QAM. Kedua gambar grafik tersebut menggambarkan kinerja OFDM pada kanal *Rayleigh* delay 10 tap dengan menggunakan 64 *sub-carrier*. Pada kanal *Rayleigh* delay 10 tap OFDM dengan modulasi QAM masih tetap mempunyai kinerja lebih bagus dibanding dengan OFDM yang menggunakan modulasi PSK. Hasil yang signifikan terlihat antara perbandingan OFDM 256-QAM dengan OFDM 256-PSK.

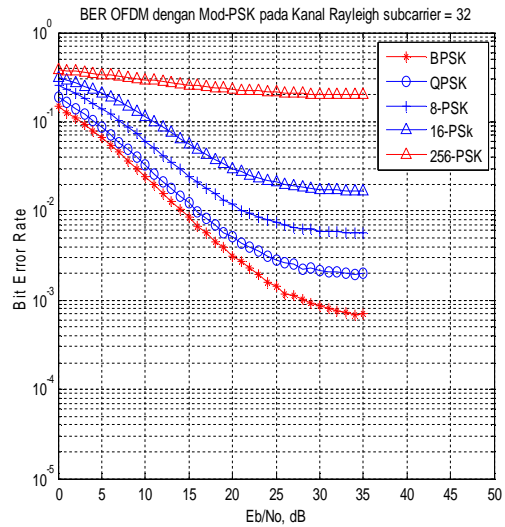


Gambar 15 BER OFDM – PSK Kanal *Rayleigh* Subcarrier 64

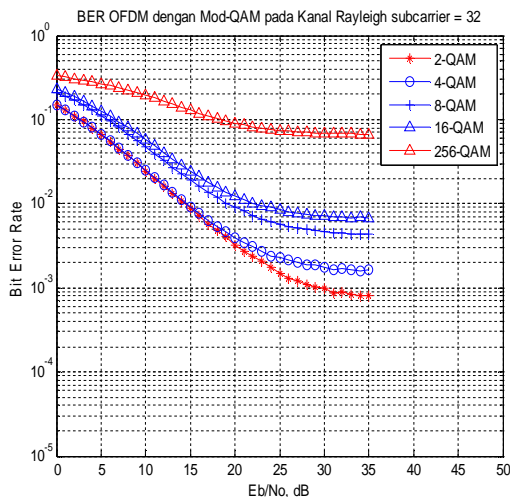


Gambar 16 BER OFDM – QAM Kanal *Rayleigh* Subcarrier 64

Untuk gambar 17 dan 18 merupakan OFDM yang menggunakan modulasi PSK dan QAM. Kedua gambar grafik tersebut menggambarkan kinerja OFDM pada kanal *Rayleigh* delay 10 tap dengan menggunakan 32 *sub-carrier*. Seperti sebelumnya OFDM yang menggunakan modulasi QAM mempunyai kinerja lebih bagus dibanding dengan OFDM dengan modulasi PSK. Tetapi OFDM dengan 32 *sub-carrier* tersebut sebenarnya mempunyai kinerja yang buruk dibanding dengan OFDM yang menggunakan 64 *sub-carrier*.



Gambar 17 BER OFDM – PSK Kanal *Rayleigh* Subcarrier 32



Gambar 18 BER OFDM – QAM Kanal *Rayleigh* Subcarrier 32

11 Kesimpulan

1. Semakin besar level modulasi atau semakin tinggi nilai M -ary maka nilai *Bit Error Rate* (BER) akan semakin buruk.
2. Semakin tinggi nilai M -ary maka daya noise yang dibutuhkan sangat kecil untuk membuat suatu kesalahan data.
3. Kinerja OFDM pada kanal *Rayleigh* mempunyai nilai BER yang lebih besar dibanding dengan kanal AWGN.
4. Untuk mengatasi nilai BER yang tinggi dibutuhkan nilai Bit to Noise Ratio yang besar.
5. Kinerja OFDM pada kanal *rayleigh*, jika nilai subcarrier bertambah akan mempunyai nilai BER yang baik dikarenakan panjang durasi simbol yang semakin panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Communications Systems", Artech House, pp 11-12, 2004.
- [2] Mohammad Azizul Hasan, "Performance Evaluation of WiMAX/IEEE 802.16 OFDM Physical Layer", Helsinki University Of Techonology, pp 20-26, Juni 2007.
- [3] Artikel Wikipedia "Orthogonal frequency-division multiplexing",

http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing

- [4] Anibal Luis Intini, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Networks", University Of Calivornia Santa Barbarra, December 2000.
- [5] Charan Langton, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing Tutorial", <http://www.complextoreal.com/>, 2004.
- [6] Louis Litwin dan Michael Pugel, "The Principles of OFDM", <http://rfdesign.com/>, Januari 2001.
- [7] "OFDM and Multi-Channel Communication Systems", <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>, Januari 2007.
- [8] Artikel Elektro Indonesia " Kanal *Rayleigh* Fading pada Komunikasi CDMA ", <http://elektroindonesia.com/elektro/telkom12.html>
- [9] Khrisna Sankar, " *Rayleigh* multipath channel model", <http://www.dsblog.com/2008/07/14/rayleigh-multipath-channel/>
- [10] Artikel Wikipedia "Rayleigh fading", http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_fading
- [11] "OFDM Systems - Why Cyclic Prefix?", http://sites.google.com/site/mdanishnisar/pubs/01OFDM_Tutorial_Nisar.pdf?attredirects=0