

PERBANDINGAN PERFORMANSI ANTARA SC-FDMA DAN OFDMA

Putri Nurina Ayuningtias¹, Rina Pudji Astuti², Budi Prasetya³

^{1,2,3}Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom, Bandung

¹putrinurina@yahoo.com, ²rpa@ittelkom.ac.id, ³bpv@ittelkom.ac.id

Abstrak

Teknologi wireless yang portable merupakan salah satu teknologi yang banyak dikembangkan saat ini. Permasalahan yang utama dalam teknologi ini adalah kebutuhan akan kecepatan data yang tinggi dan kebutuhan akan sistem komunikasi yang mempunyai efisiensi yang tinggi, sehingga dengan spektrum bandwidth yang terbatas mampu melayani dengan performansi baik. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan teknologi IEEE 802.16e. IEEE 802.16e menggunakan teknik komunikasi multicarrier Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) untuk mengakomodasi multiple user secara simultan.

OFDMA merupakan teknik multi carrier yang membagi bandwidth kanal yang akan dimanfaatkan oleh sejumlah carrier, dan tiap carrier dimodulasi dengan kecepatan rendah. Namun sisi lain terdapat teknik komunikasi yang juga dapat digunakan pada teknologi IEEE 802.16e yaitu, teknik komunikasi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) yang menggunakan modulasi single carrier. Secara umum sistem OFDMA dan SC-FDMA sama, tetapi perbedaannya adalah sistem SC-FDMA menggunakan tambahan operasi FFT di transmittersnya dan operasi IFFT di receiversnya.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan simulasi perbandingan performansi antara SC-FDMA dan OFDMA. Pada tugas akhir ini akan merancang model sistem SC-FDMA dan OFDMA serta dilakukan analisa performansi sistem SC-FDMA dan OFDMA dengan menggunakan kanal Rayleigh dan kanal AWGN. Parameter yang digunakan dalam analisa performansi adalah Bit Error Rate (BER). Dari hasil simulasi didapatkan bahwa secara umum kinerja sistem OFDMA lebih baik jika dibandingkan dengan sistem SC-FDMA. Hal ini terlihat pada kecepatan 50 km/jam untuk mencapai BER 10⁻³, sistem OFDMA membutuhkan Eb/No sebesar 13 dB, sedangkan sistem SC-FDMA memerlukan BER sampai 15.8 dB untuk mencapai target BER yang sama, sehingga terdapat selisih Eb/No sebesar 2.8 dB.

Kata kunci: IEEE 802.16e, SC-FDMA, OFDMA, FFT, *Rayleigh*, BER

Abstract

The portable wireless technology is one of many technologies developed at this time. The main problem in technology is the need for a high-speed data, and the need for communication systems that have a high efficiency, so that with the limited spectrum bandwidth is able to serve with a good performance. The solution is using IEEE 802.16e technology. IEEE 802.16e using the techniques of communication multicarrier Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) to accommodate multiple users simultaneously.

OFDMA is a multi-carrier technique that divides the channel bandwidth will be used by a number of carriers, and each carrier are modulated with low speed. But the other side there is a communication technique that can also be used on the IEEE 802.16e technology namely, communication techniques Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) which uses single carrier modulation. In general OFDMA system and SC-FDMA are same, but the difference is SC-FDMA system using additional FFT operation in its transmitter and IFFT operation in its receiver.

In this Final Project conducted simulation performance comparison between SC-FDMA and OFDMA In this Final Project will to design a model system of SC-FDMA and OFDMA and analysis system performance of SC-FDMA and OFDMA using Rayleigh channel and AWGN channel. Parameters used in the analysis of performance is the Bit Error Rate (BER). Results obtained from the simulation that generally system performance of OFDMA better when compared with the SC-FDMA system. This is seen in the speed of 50 km / hour to reach the BER 10⁻³, OFDMA systems require Eb / No of 13 dB, while the SC-FDMA system requires up to 15.8 dB BER to achieve the target BER of the same, so there is a difference Eb / No of 2.8 dB.

Keywords: IEEE 802.16e, SC-FDMA, OFDMA, FFT, *Rayleigh*, BER

1. Pendahuluan

Teknologi wireless yang portable merupakan salah satu teknologi yang banyak dikembangkan saat ini. Permasalahan yang utama dalam teknologi ini adalah kebutuhan akan

kecepatan data yang tinggi dan kebutuhan akan sistem komunikasi yang mempunyai efisiensi yang tinggi, sehingga dengan spektrum bandwidth yang terbatas mampu melayani dengan performansi baik. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan

teknologi IEEE 802.16e. IEEE 802.16e menggunakan teknik komunikasi multicarrier Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) untuk mengakomodasi multiple user secara simultan.

OFDMA merupakan teknik multi carrier yang membagi bandwidth kanal yang akan dimanfaatkan oleh sejumlah carrier, dan tiap carrier dimodulasi dengan kecepatan rendah. Namun sisi lain terdapat teknik komunikasi yang juga dapat digunakan pada teknologi IEEE 802.16e yaitu, teknik komunikasi Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) yang menggunakan modulasi single carrier. Secara umum sistem OFDMA dan SC-FDMA sama, tetapi perbedaannya adalah sistem SC-FDMA menggunakan tambahan operasi FFT di transmitternya dan operasi IFFT di receivernya.

Sejauh ini sudah dilakukan penelitian Tugas akhir yang menganalisa dan mensimulasikan performansi sistem OFDMA pada mobile Wimax [19]. Maka dalam Tugas Akhir ini dilakukan simulasi perbandingan performansi antara SC-FDMA dan OFDMA. Pada tugas akhir ini akan merancang model sistem SC-FDMA dan OFDMA serta dilakukan analisa performansi sistem SC-FDMA dan OFDMA dengan menggunakan kanal Rayleigh dan kanal AWGN. Parameter yang digunakan dalam analisa performansi adalah Bit Error Rate (BER) pada nilai Eb/No tertentu.

2. Dasar Teori

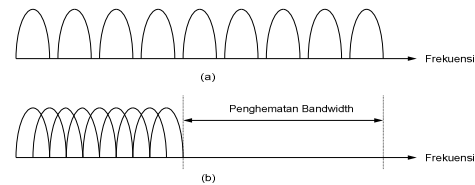
2.1. Sistem Komunikasi Muticarrier

Sistem modulasi multicarrier pada dasarnya adalah mentransmisikan banyak aliran data paralel secara bersamaan melalui kanal transmisi $c(t)$, masing-masing mentransmisikan hanya sebagian dari keseluruhan laju data. Dengan prinsip ini laju data yang tinggi bisa dikirimkan dengan menurunkan aliran kecepatan data tersebut.

2.2. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Prinsip dasar OFDM adalah membagi laju data kecepatan tinggi menjadi beberapa laju data kecepatan rendah yang ditransmisikan secara simultan dengan menggunakan beberapa subcarriers yang saling *orthogonal*. Laju data yang rendah pada masing-masing subcarriers menyebabkan periode simbol lebih panjang dan *bandwidth subcarriers* akan menjadi lebih sempit. Dengan *subcarriers* yang saling *orthogonal* maka memungkinkan penggunaan spektrum antar *subcarriers* saling *overlap* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI).

Prinsip orthogonalitas pada OFDM adalah *bandwidth* total sinyal dibagi menjadi N_s *subcarriers* yang saling *overlap*, dengan frekuensi antar *subcarriers* dibuat saling *orthogonal* sehingga walaupun *overlap* sinyal masih bisa diterima tanpa adanya interferensi antar *subcarriers* (idealnya).



Gambar 1. Spektrum multicarrier: (a) tidak overlap (b) *overlap orthogonal*

2.3. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

OFDMA merupakan teknik akses jamak yang berdasarkan OFDM sebagai teknik modulasinya. Pada OFDMA, satu *user* akan dimodulasi OFDM pada beberapa *subcarriers* saja. *User* pada OFDMA dibedakan dari frekuensi *subcarriers* yang dipakai seperti pada FDMA, namun keuntungan dibanding FDMA adalah *guard band* antar *subcarriers* yang diberikan pada tiap *user* lebih sempit karena boleh saling *overlap* sehingga spektrum frekuensi lebih efisien dan dapat meningkatkan kapasitas.

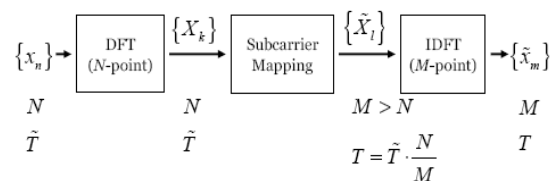
Keuntungan dari sistem OFDMA adalah dapat menghilangkan ISI dengan penggunaan *guard time* yang lebih panjang dari nilai *delay spread* dan dapat mengurangi ICI dengan penambahan *cyclic prefix* pada tiap simbol OFDM, efisien terhadap penggunaan spektral karena antar frekuensi *subcarriers* saling *orthogonal*, lebih tahan terhadap *frequency selective fading* dibandingkan sistem *single carrier*.

2.4. Sistem Komunikasi Single Carrier

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

2.5. Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Sistem SC-FDMA dianggap sebagai sistem OFDMA yang ditambahkan operasi DFT, dimana simbol data dalam domain waktu ditransformasi ke domain frekuensi dengan menggunakan operasi DFT. Ortogonalitas dari *user*nya yaitu setiap *user* ditempatkan pada *subcarrier* yang berbeda dalam domain frekuensi. Dalam OFDMA juga berlaku sistem orthogonalitas seperti diatas. Karena transmisi sinyal secara keseluruhan merupakan *single carrier signal*, PAPR lebih rendah jika dibandingkan dengan OFDMA yang menghasilkan sinyal *multicarrier*.



Gambar 2. Transmisi simbol SC-FDMA

DFT pada transmitter SC-FDMA memiliki 2 fungsi yaitu : mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Selain itu juga berfungsi untuk membuat frekuensi multiplexing atau multiple access walaupun menggunakan transmisi single carrier. Perbedaan antara SC-FDMA dan OFDMA adalah adanya penambahan operasi DFT di transmitter yang secara fisik membuat sinyal SC-FDMA dalam domain waktu.

2.6. Modulasi dan Demodulasi sinyal OFDM dengan Fast Fourier Transform (FFT)

Penggunaan DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada OFDM dapat mengurangi kompleksitas realisasi sistem, karena tidak memerlukan osilator, mixer, dan filter untuk menghasilkan setiap frekuensi *subcarriers* secara tepat.

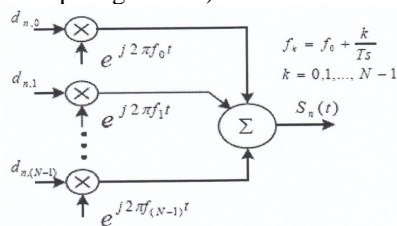
Pada sistem OFDM, N buah subcarrier termodulasi PSK/QAM dibuat saling orthogonal dan overlap dengan spasi antar subcarrier sebesar durasi atau periode simbol OFDM (T_s). Hal ini berarti bahwa setiap frekuensi subcarrier pada OFDM memenuhi persamaan sebagai berikut :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \quad k = 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.1)$$

Sinyal yang ditransmisikan sepanjang satu periode simbol OFDM ke-n dan subcarrier ke-k didefinisikan sebagai berikut :

$$S_n(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d_{n,k} g_k \{t - nT_s\} \quad 0 \leq t \leq T \quad (2.2)$$

Simbol $d_{n,k}$ diperoleh dari proses konversi informasi kompleks serial hasil mapping PSK/QAM dengan kecepatan sebesar N/T_s (atau periode simbol = T_s/N) menjadi informasi kompleks paralel dengan kecepatan pada masing-masing lengan paralel sebesar $1/T_s$ (atau periode simbol setiap lengan = T_s).



Gambar 3. Diagram blok modulasi OFDM

Persamaan (2.2) menyatakan satu symbol sinyal OFDM dengan rate sebesar N/T_s . Sinyal OFDM ini berupa discrete time signal yaitu :

$$S_n^m(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d_{n,k} g_k(t - nT_s) \quad t = \left(n + \frac{m}{N}\right)T_s \quad \text{dengan } m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.3)$$

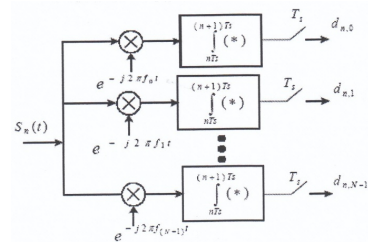
Persamaan (2.3) dijabarkan menjadi

$$S_n^m(t) = e^{j2\pi f_0 \frac{m}{N} T_s} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} d_{n,k} e^{j2\pi \frac{mk}{N}} \quad , m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.4)$$

Dengan mengasumsikan $f_0 = 0$ Hz, maka persamaan (2.4) dapat direduksi menjadi:

$$S_n^m(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d_{n,k} e^{j2\pi \frac{mk}{N}} \quad , m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) merupakan bentuk operasi N-point Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT/IFFT) dengan menghimangkan scaling factor. Biasanya pada transmitter OFDM digunakan IFFT untuk modulasi sedangkan pada receiver OFDM digunakan FFT untuk demodulasinya.



Gambar 4. Diagram blok demodulator OFDM

Dengan menerapkan FFT pada penerima, akan didapatkan seluruh symbol $d_{n,k}$ yang dikirim oleh modulator OFDM. Dengan sifat orthogonalitas antar subcarrier, maka scalar product antar subcarrier akan menghasilkan :

$$\langle g_k(t), g_i(t) \rangle_{T_s} = \int_{T_s} g_k(t) \cdot g_i^*(t) dt = T_s \delta(k-i) \quad (2.6)$$

dimana

$$\delta(k-i) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } k=i \\ 0, & \text{untuk } k \neq i \end{cases} \quad (2.7)$$

Sifat orthogonalitas antar subcarrier OFDM dimanfaatkan untuk melakukan proses demodulasi pada setiap subcarrier sebagai berikut :

$$d'_{n,k} = \frac{1}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} s(t) \cdot g_k^*(t) dt \quad (2.8)$$

bila sinyal kirim $s(t)$ diterima dengan sempurna, maka persamaan (2.10) dapat disederhanakan menjadi :

$$d'_{n,k} = \frac{1}{T_s} \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} s_n(t) \cdot g_k^*(t) dt = d_{n,k} \quad (2.9)$$

2.7. Kanal Transmisi

Pada tugas akhir ini, model kanal yang akan digunakan adalah noise AWGN berdistribusi Gaussian dan kanal multipath fading berdistribusi Rayleigh.

2.7.1. Kanal AWGN (Additive White Gaussian Noise)

Kanal ideal (AWGN) bersifat meloloskan semua spektrum sinyal tanpa distorsi karena kanal diasumsikan memiliki bandwidth tak berhingga sehingga respon frekuensi dianggap flat untuk

semua frekuensi. Pelemahan (error) disebabkan oleh AWGN sementara sinyal terima adalah besaran deterministik menggunakan statistik AWGN yang berdistribusi Gaussian.

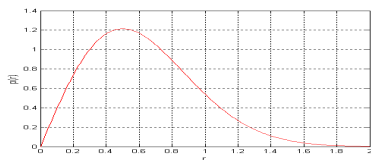
2.7.2. Kanal Multipath Fading

Fading yang terjadi akibat adanya multipath biasa dinamakan multipath fading. Fading didefinisikan sebagai fluktuasi daya di penerima yang disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih sinyal multipath yang diterima receiver pada saat berbeda. Dalam melakukan analisis terhadap fading, akan digunakan analisis probabilitas stokastik karena perilaku sinyal pada kanal multipath adalah acak. Fenomena small-scale fading digunakan untuk menggambarkan fluktuasi dari amplitudo yang sangat cepat dari sinyal radio dalam periode waktu atau jarak tempuh yang singkat, sehingga pengaruh pathloss dapat diabaikan.

2.7.3. Rayleigh Fading

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi Rayleigh digunakan pada kondisi multipath dengan tidak ada jalur langsung antara pengirim dan penerima, dengan kata lain, antara pengirim dan penerima tidak Line Of Sight (LOS). Distribusi Rayleigh yang mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (probability density function) sebagai berikut:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (r \geq 0) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (2.10)$$



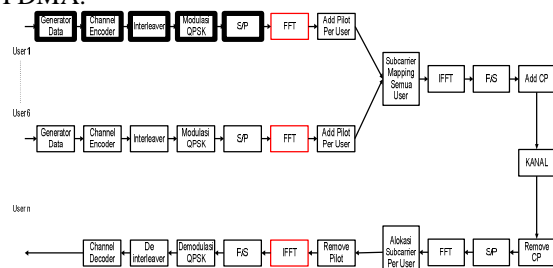
Gambar 5. Grafik PDF distribusi Rayleigh

3. Perancangan Model Dan Simulasi Sistem

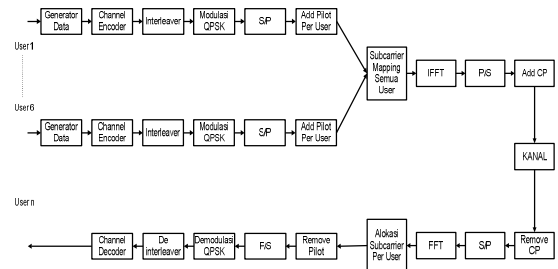
3.1. Pemodelan Sistem Downlink SC-FDMA dan OFDMA

Perancangan model pada tugas akhir ini menggunakan sistem multicarrier dan single carrier yang tujuannya untuk mencari performansi yang lebih baik dilihat dari parameter BER.

Secara umum, sistem SC-FDMA dan OFDMA memiliki kesamaan, tetapi yang membedakan adalah adanya penambahan blok FFT di transmitter dan blok IFFT di receiver sistem SC-FDMA.



Gambar 6. Sistem Downlink SC-FDMA



Gambar 7. Sistem Downlink OFDMA

3.2. Pemodelan Sistem Transmitter SC-FDMA dan OFDMA

Penjelasan untuk setiap subsistem yang digunakan pada simulasi sebagai berikut :

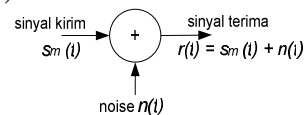
1. Generator Data
2. Channel Encoder
3. Interleaver
4. Signal Mapper
5. Serial to Parallel Converter
6. FFT (hanya terdapat pada Sistem SC-FDMA)
7. Pilot Insertion
8. IFFT
9. Subcarrier Mapping
10. Paralel to Serial Converter
11. Cyclic Prefix Addition

3.3. Pemodelan Sistem Receiver SC-FDMA dan OFDMA

Penjelasan untuk setiap subsistem yang digunakan pada simulasi sebagai berikut :

1. Remove Cyclic Prefix
2. Serial to Parallel Converter
3. FFT
4. Subcarriers Selection
5. Remove Pilot
6. Estimasi Kanal (hanya terdapat pada Sistem OFDMA)
7. IFFT (hanya terdapat pada Sistem SC-FDMA)
8. Parallel to Serial Converter
9. Signal Demapper
10. Deinterleaver
11. Channel decoder
12. Perhitungan BER untuk simulasi system SC-FDMA dan OFDMA

3.4. Kanal AWGN (Additive White Gaussian Noise)



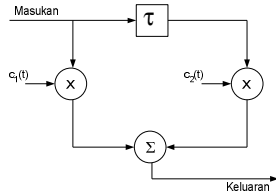
Gambar 8. Pemodelan kanal AWGN

Kanal ini akan memberikan noise pada sistem yang terdistribusi Gaussian lalu keluaran blok AWGN akan dicampurkan dengan sinyal yang telah terdistorsi oleh kanal multipath rayleigh fading.

3.5 Kanal Multipath Fading

Model kanal multipath fading yang digunakan adalah kanal multipath rayleigh fading

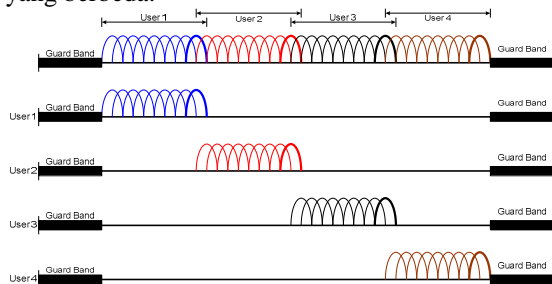
yang berdistribusi rayleigh. Pada simulasi digunakan model dua tap yang disebut two-ray *multipath Rayleigh fading*. Model ini merupakan penyederhanaan model *tapped delay line*, karena hanya menggunakan 2 tap. Model ini menggunakan *2-ray-Rayleigh fading* yang *independent*.



Gambar 9. Model 2-Ray-Rayleigh

3.6. Mekanisme Subcarrier Mapping

Spektrum frekuensi bandwidth dibagi-bagi menjadi beberapa sub-kanal. Tiap sub-kanal terdiri dari beberapa subcarriers yang saling orthogonal, merupakan data dan pilot subcarriers, sedangkan guard subcarriers terletak di ujung kanan kiri spektrum sehingga bandwidth lebih efisien. Tiap sub-kanal yang berbeda dialokasikan untuk user yang berbeda.



Gambar 10. Model sub-kanalasi *adjacent subcarriers*

3.7. Parameter-parameter Simulasi SC-FDMA dan OFDMA

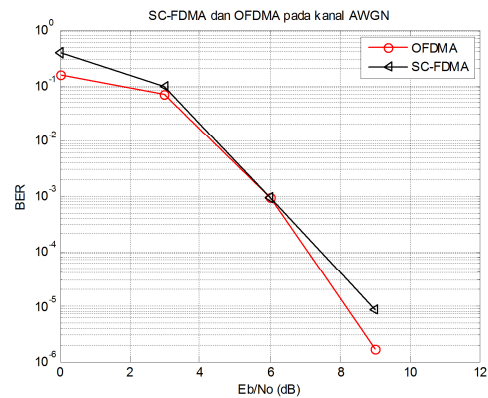
Tabel 1. Parameter simulasi SC-FDMA dan OFDMA

PARAMETER	NILAI
Bandwidth kanal	5 MHz
Frekuensi	2.5 Ghz
Ukuran FFT	512
Periode symbol ($T_b = 1/f$)	91.4 μ s
Guard Time ($T_g = T_b/8$)	11.4 μ s
Durasi simbol OFDMA ($T_s = T_b + T_g$)	102.9 μ s
Frekuensi sampling	5.6 MHz
Spasi antar subcarriers	10.94 KHz
Delay spread	0.368 μ s
Signal mapper	QPSK
Cyclic prefix	1/4
Jumlah pilot subcarrier	78

Jumlah data subcarrier	384
Jumlah guardband subcarrier, kanan/kiri	50, 25/25
Subkanalisasi	FUSC
Jumlah subkanal	6
Lingkungan kanal	Outdoor
Model sistem	Baseband
Kecepatan user	0 km/jam, 3 km/jam, 50 km/jam, 120 km/jam

4. Analisis Hasil Simulasi

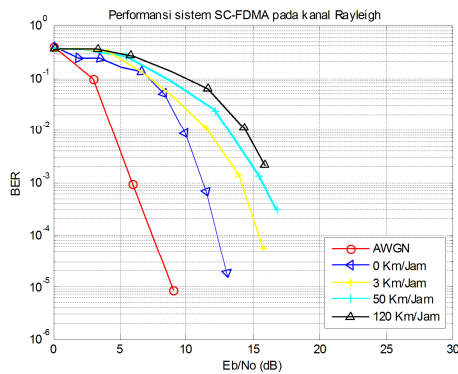
4.1. Analisis Kinerja Sistem SC-FDMA Dan OFDMA Pada Kanal AWGN



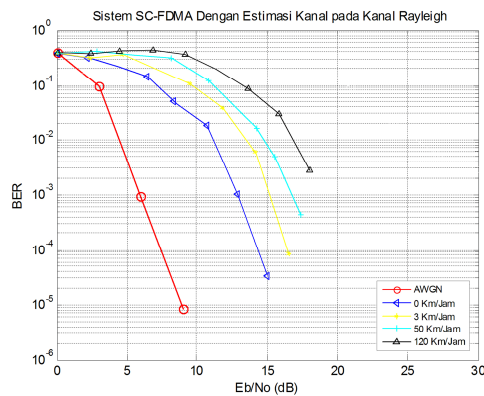
Gambar 11. Kinerja Sistem SC-FDMA Dan OFDMA Pada Kanal AWGN

Untuk mencapai BER 10^{-3} , sistem SC-FDMA dan OFDMA memerlukan nilai E_b/N_0 yang sama yaitu sebesar 6 dB. Sedangkan untuk mencapai BER 10^{-5} pada sistem SC-FDMA memerlukan E_b/N_0 sebesar 8.9 dB, dan sisi lain sistem OFDMA hanya memerlukan nilai E_b/N_0 sebesar 8.2 dB. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbaikan kinerja sebesar 0.7 dB, bila sistem SC-FDMA dibandingkan dengan sistem OFDMA untuk mencapai BER 10^{-5} . Hal ini dikarenakan pada sistem SC-FDMA menggunakan single carrier sehingga sistem lebih rentan terhadap noise AWGN dibandingkan sistem OFDMA yang menggunakan multi carrier, sehingga sistem OFDMA mempunyai kemampuan lebih besar untuk melawan noise AWGN. Akibatnya pada E_b/N_0 yang sama, probabilitas error di OFDMA lebih kecil dibanding dengan SC-FDMA. Dan juga pada kanal AWGN tidak ada multipath sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada orthogonalitas antar subcarriers.

4.2. Analisis Kinerja Sistem SC-FDMA Dengan dan Tanpa Estimasi Kanal Dengan Berbagai Variasi Kecepatan User Pada Kanal Rayleigh



Gambar 12. Kinerja Sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dengan berbagai variasi kecepatan user pada Kanal Rayleigh



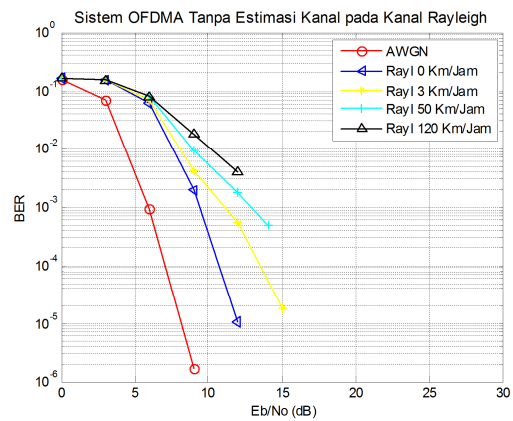
Gambar 13. Kinerja Sistem OFDMA dengan estimasi kanal dengan berbagai variasi kecepatan user pada Kanal Rayleigh

Pada kondisi kecepatan user 0 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 1.7 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 1.5 dB. Pada kondisi kecepatan user 3 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 0.9 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 0.7 dB. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 0.7 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal, sedangkan untuk BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja. Pada kondisi kecepatan user 120 km/jam BER 10^{-3} dan BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja. Sehingga jika dibandingkan dengan kanal AWGN, performansi kanal Rayleigh dengan dan tanpa estimasi kanal

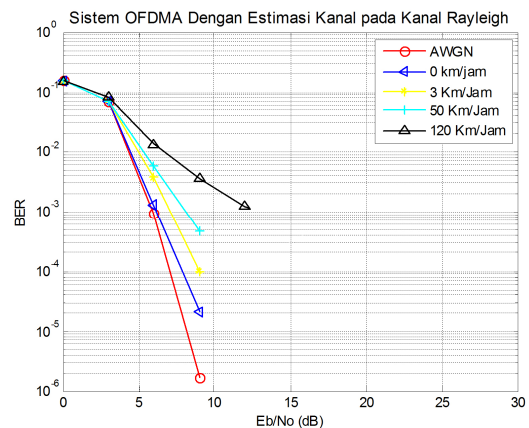
lebih buruk karena pada kanal AWGN tidak ada multipath sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada orthogonalitas antar subcarriers.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan estimasi kanal pada sistem SC-FDMA tidak memberikan perbaikan kerja. Dikarenakan estimasi kanal pada sistem SC-FDMA dengan sinyal pilot yang disisipkan secara kontinu pada *subcarrier* tertentu, tidak bekerja secara sempurna.

4.3. Analisis Kinerja Sistem OFDMA dengan dan tanpa Estimasi Kanal dari berbagai Variasi Kecepatan User pada Kanal Rayleigh



Gambar 14. Kinerja Sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dengan berbagai variasi kecepatan user pada Kanal Rayleigh



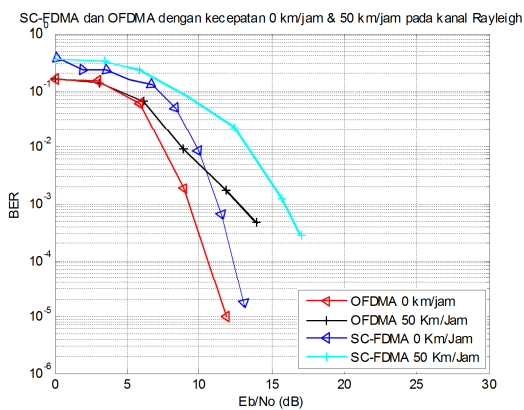
Gambar 15. Kinerja Sistem OFDMA dengan estimasi kanal dari berbagai variasi kecepatan user pada Kanal Rayleigh

Pada kondisi kecepatan user 0 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 3.1 dB, bila sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 2.8 dB. Pada kondisi kecepatan user 3 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 4.2 dB, bila sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA

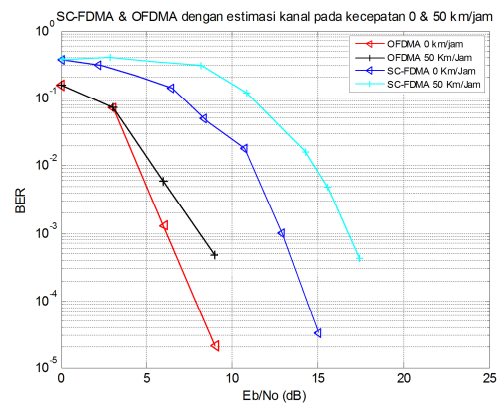
dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 5.2 dB. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 5 dB, bila sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA dengan estimasi kanal, sedangkan untuk BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja. Pada kondisi kecepatan user 120 km/jam BER 10^{-3} dan BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja. Sehingga jika dibandingkan dengan kanal AWGN, performansi kanal Rayleigh dengan dan tanpa estimasi kanal lebih buruk karena pada kanal AWGN tidak ada multipath sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada orthogonalitas antar subcarriers.

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan estimasi kanal pada sistem OFDMA dapat memberikan perbaikan kerja. Dikarenakan penggunaan estimasi kanal pada sistem OFDMA dengan sinyal pilot yang disisipkan secara kontinu pada *subcarrier* tertentu, menyebabkan penerima mengetahui kondisi sesaat kanal yang dilalui oleh *subcarrier* pilot, sedangkan kondisi kanal karena adanya perbedaan frekuensi kerja setiap *subcarrier* diestimasi dengan menggunakan interpolasi. Sehingga pada bagian *demapping*, konstelasi *mapping* sinyal yang diterima walaupun bergeser dari seharusnya, tapi bit yang dideteksi sebagai *error* dapat dikurangi.

4.4. Analisa Kinerja Sistem SC-FDMA dan OFDMA dengan dan Tanpa Estimasi Kanal pada Berbagai Variasi Kecepatan User Pada Kanal Rayleigh



Gambar 16. Kinerja sistem SC-FDMA dan OFDMA tanpa estimasi kanal dengan berbagai variasi kecepatan pada kanal Rayleigh

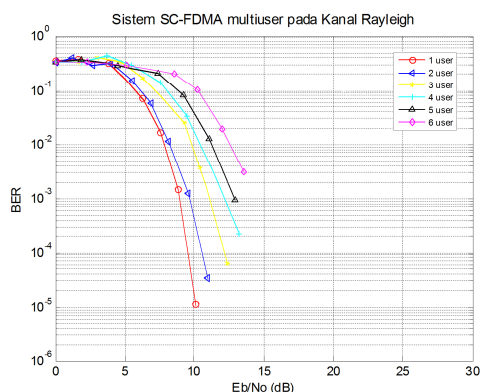


Gambar 17. Kinerja sistem SC-FDMA dan OFDMA dengan estimasi kanal pada berbagai variasi kecepatan pada kanal Rayleigh

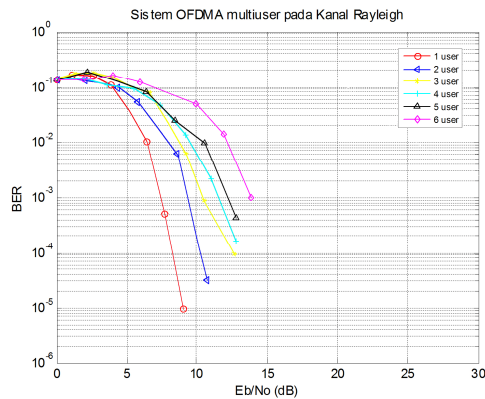
Pada kondisi kecepatan user 0 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 2.1 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 2 dB. Pada kondisi kecepatan user 0 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 6.9 dB, bila sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 6.3 dB. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 2.8 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 8.5 dB, bila sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} tidak ada perbaikan kerja.

Secara umum performansi kinerja sistem OFDMA lebih baik dibandingkan sistem SC-FDMA pada kecepatan 0 km/jam dan 50 km/jam. Karena estimasi kanal pada sistem OFDMA bekerja lebih sempurna daripada estimasi kanal pada sistem SC-FDMA.

4.5. Analisa Kinerja Multiple User pada sistem SC-FDMA dan OFDMA



Gambar 18. Kinerja multiple user sistem SC-FDMA dengan berbagai variasi kecepatan pada kanal Rayleigh



Gambar 19. Kinerja multiple user sistem OFDMA dengan berbagai variasi kecepatan pada kanal Rayleigh

Pada kondisi jumlah user 1 untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 1.2 dB, bila sistem SC-FDMA dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 1.1 dB. Pada kondisi jumlah user 3 untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 0.7 dB, bila sistem SC-FDMA dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 0.4 dB. Pada kondisi jumlah user 6 untuk mencapai BER 10^{-3} dan 10^{-4} , tidak ada perbaikan kerja untuk sistem SC-FDMA dan OFDMA.

Hasil simulasi menunjukkan untuk nilai E_b/N_0 tertentu, adanya penambahan jumlah user dengan variasi perubahan kecepatan akan mempengaruhi nilai BER berarti kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh jumlah user. Semakin banyak user, nilai BER semakin besar, artinya kinerja sistem semakin buruk. Dan dapat terlihat juga bahwa dengan E_b/N_0 makin besar, BER makin kecil pada jumlah user yang sama, dengan kata lain jika diberikan daya yang besar, performansi sistem semakin baik, namun ada trade-off yang harus dipertimbangkan.

4.6. Analisa Kinerja sistem SC-FDMA dibandingkan dengan hasil penelitian yang sudah ada

Sebelum Tugas Akhir ini dilakukan, sudah ada penelitian tentang sistem single carrier yang membahas aspek PAPR dan performansi sistem. Hasil dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem SC-FDMA mempunyai PAPR yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem OFDMA. Sehingga performansi sistem SC-FDMA lebih baik dibandingkan dengan sistem OFDMA. Namun dalam Tugas Akhir ini, secara umum performansi sistem OFDMA lebih baik dibandingkan dengan sistem SC-FDMA. Dikarenakan proses estimasi

kanal pada sistem SC-FDMA tidak sempurna, sehingga hasil proses estimasi tidak optimal.

Performansi sistem SC-FDMA lebih buruk juga dimungkinkan karena peletakkan operasi FFT di pemancar dan operasi IFFT di penerima belum sesuai dengan sistem SC-FDMA. Sehingga untuk Tugas Akhir selanjutnya dapat diteliti peletakkan operasi FFT dan IFFT yang lebih optimal.

Selain itu dalam Tugas Akhir ini menggunakan metode subcarrier mapping localized mode yaitu subcarrier-subcarrier yang dialokasikan untuk setiap user SC-FDMA ditempatkan secara berkelompok dan berurutan sesuai dengan urutan user sehingga tidak tercampur dengan subcarrier-subcarrier dari user lainnya. Localized mode membuat subcarrier-subcarrier dari user tidak mengalami semua respon kanal. Maka untuk Tugas Akhir berikutnya dapat diteliti sistem SC-FDMA dengan menggunakan distributed mode.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis sistem SC-FDMA dan OFDMA, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Performansi OFDMA pada kanal AWGN lebih baik dibanding dengan SC-FDMA pada kanal AWGN. Sebagai contoh terdapat perbaikan sekitar 0.7 dB untuk BER 10^{-4} , jika sistem OFDMA dibanding sistem SC-FDMA pada kanal AWGN.
2. Kinerja Sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal pada berbagai variasi kecepatan user pada kanal Rayleigh lebih baik dibandingkan dengan dengan estimasi kanal. Pada kondisi user diam, untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 1.7 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 1.5 dB. Dikarenakan estimasi kanal pada sistem SC-FDMA dengan sinyal pilot yang disisipkan secara kontinu pada subcarrier tertentu, tidak bekerja secara sempurna.
3. Kinerja sistem OFDMA dengan estimasi kanal dari berbagai variasi kecepatan user pada kanal Rayleigh lebih baik dibandingkan dengan tanpa estimasi kanal. Pada kondisi kecepatan user 3 km/jam untuk mencapai BER 10^{-3} , terdapat perbaikan kinerja sebesar 4.2 dB, bila sistem OFDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA dengan estimasi kanal, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10^{-4} sebesar 5.2 dB. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan estimasi kanal pada sistem OFDMA dapat memberikan perbaikan kerja.
4. Kinerja Sistem OFDMA dengan dan tanpa Estimasi Kanal pada berbagai variasi kecepatan user pada kanal Rayleigh lebih baik daripada

sistem SC-FDMA. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10⁻³, terdapat perbaikan kinerja sebesar 2.8 dB, bila sistem SC-FDMA tanpa estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA. Pada kondisi kecepatan user 50 km/jam untuk mencapai BER 10⁻³, terdapat perbaikan kinerja sebesar 8.5 dB, bila sistem SC-FDMA dengan estimasi kanal dibandingkan dengan sistem OFDMA. Secara umum performansi kinerja sistem OFDMA lebih baik dibandingkan sistem SC-FDMA. Karena estimasi kanal pada sistem OFDMA bekerja lebih sempurna daripada estimasi kanal pada sistem SC-FDMA.

5. Kinerja multiple user pada sistem OFDMA dengan berbagai variasi kecepatan user pada kanal Rayleigh lebih baik daripada sistem SC-FDMA. Pada kondisi jumlah user 3 untuk mencapai BER 10⁻³, terdapat perbaikan kinerja sebesar 0.7 dB, bila sistem SC-FDMA dibandingkan dengan sistem OFDMA, sedangkan perbaikan kerja untuk BER 10⁻⁴ sebesar 0.4 dB. Hasil simulasi menunjukkan untuk nilai Eb/No tertentu, adanya penambahan jumlah user dengan variasi perubahan kecepatan akan mempengaruhi nilai BER berarti kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh jumlah user.
6. Dalam Tugas Akhir ini, secara umum performansi sistem OFDMA lebih baik dibandingkan dengan sistem SC-FDMA. Dikarenakan proses estimasi kanal pada sistem SC-FDMA tidak sempurna, sehingga hasil proses estimasi tidak optimal. Performansi sistem SC-FDMA lebih buruk juga dimungkinkan karena peletakkan operasi FFT di pemancar dan operasi IFFT di penerima belum sesuai dengan sistem SC-FDMA. Selain itu dalam Tugas Akhir ini menggunakan metode subcarrier mapping localized mode yaitu subcarrier-subcarrier yang dialokasikan untuk setiap user SC-FDMA ditempatkan secara berkelompok dan berurutan sesuai dengan urutan user sehingga tidak tercampur dengan subcarrier-subcarrier dari user lainnya. Localized mode membuat subcarrier-subcarrier dari user tidak mengalami semua respon kanal. Maka untuk Tugas Akhir berikutnya dapat diteliti sistem SC-FDMA dengan menggunakan distributed mode.

5.2. Saran

Beberapa saran untuk pengembangan atau penelitian lebih lanjut dapat antara lain :

1. Analisis tentang estimasi kanal yang optimal untuk sistem SC-FDMA.
2. Analisis pengaruh PAPR terhadap kinerja SC-FDMA dan OFDMA.
3. Analisis tentang peletakkan operasi FFT dan IFFT yang optimal untuk sistem SC-FDMA.

4. Analisis tentang *subcarrier mapping* yang optimal untuk sistem SC-FDMA dan OFDMA.

Daftar Pustaka:

- [1] Rappaport, Theodore S., *Wireless Communication*, Prentice Hall, New York, 1996.
- [2] Simon Haykin, "Communication Systems, USA : Wiley, 2001.
- [4] Prasetya, Budi, *Modul 11 Siskom II : Convolutional Code*, Institut Teknologi Telkom: Bandung, 2008.
- [5] Proakis, John.G., *Digital Communication*, McGraw-Hill: New York, 1995.
- [6] Lawrey, E. Phillip, "Adaptive Techniques for Multiuser OFDM", Electrical and Computer Engineering School of Engineering, James Cook University , 2001.
- [9] Mufti A, Nachwan, "Propagasi Sinyal pada Kanal Fading Komunikasi Bergerak", Diktat Sistem Komunikasi Bergerak, STT Telkom, Bandung, 2003.
- [10] Rohde & Schwarz, "WiMAX General Information about the Standard 802.16", Munchen, Jerman, 2006
- [11] Li, Guoqing dan Hui Liu. *On the Optimality of the OFDMA Network*. IEEE Communications Letters vol.9 2005.
- [12] Prasad, Ramjee dan Richard van Nee. *OFDM for Wireless Multimedia Communication*. Artech House, Boston. 2000.
- [13] WiMAX Forum, *Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, 2006.
- [14] H. G. Myung. *Single Carrier Orthogonal Multiple Access Technique for Broadband Wireless Communication*. 2007.
- [15] H. G. Myung, J. Lim, and D. J. Goodman. *Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission*. *IEEE Vehicular Technology Mag.*, vol. 1, no. 3, Sept. 2006.
- [18] Budiman, Defry. *Perbandingan Performansi Antara SC-FDE Dan OFDM Pada UWB*. 2007.
- [19] Sirait, Emyana Ruth Eritha. *Analisa Dan Simulasi Sistem Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) Pada Standar Mobile Wimax*. 2007.
- [20] Karina, Adela. *Analisis Dan Simulasi Pengaruh Penggunaan Power Loading Terhadap Papr Pada Sistem OFDM*. 2007.