

## ANALISA PERFORMANSI SISTEM WIDE BAND MC-CDMA PADA JARINGAN RADIO DI DALAM RUANGAN

Eduardus Primus De Rosari<sup>1, -2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

---

### Abstrak

Sistem MC-CDMA (multicarrierr CDMA), merupakan penggabungan sistem CDMA (Code Division Multiple Access) dimana CDMA digabungkan dengan OFDM (orthogonal frequency division modulation). MC-CDMA merupakan teknologi komunikasi digital wireless yang dipersiapkan untuk generasi mendatang. Kelebihan sistem MC-CDMA diantaranya ialah: sangat handal mengatasi propagasi multipath, dengan kemampuannya mengatasi fading dan penggunaan bandwidth yang efiseinsi. Sistem MC-CDMA membagi kanal wideband menjadi beberapa kanal narrowband yang dikodekan dengan fasa offset 0 atau pada kode penebar, namun sistem MC-CDMA juga memiliki kekurangan pada frekuensi offset ketika ada pergerakan user, sensitif terhadap fasa noise, delay akan bertambah ketika menggunakan jumlah subcarrier yang lebih banyak.

Pada jurnal ini, akan diuji performansi sistem MC-CDMA untuk single user dan multiuser pada kanal mobile lingkungan indoor pada arah uplink. Penelitian ini dilakukan pada pergerakan user adalah 0 Km/jam, 1.3 Km/jam, 3,3 Km/jam dengan menggunakan variasi subcarrier 4 , 8, dan 16. Studi perbandingan meliputi fading akibat pergerakan user, interferensi pada sistem wideband asinkron MC-CDMA dan klasik MC-CDMA, dan teknik deteksi MRC dan EGC.

Dari hasil yang diperoleh, dengan menggunakan 16 subcarrier performansi sistem lebih baik dibandingkan menggunakan 4 subcarrier ditunjukkan dengan meningkatnya nilai BER. Pada kasus single user kecepatan pegerakan user makin cepat mengakibatkan kinerja sistem menurun untuk semua variasi subcarrier. Pada kasus multi user sistem wideband asinkron MC-CDMA lebih baik performansinya ketika jumlah interference user makin banyak dibandingkan sistem wideband klasik MC-CDMA. Pada sistem MCCDMA uplink teknik deteksi MRC memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan EGC

**Kata Kunci :** Wideband MC-CDMA, asinkron MC-CDMA, klasik MC-CDMA

---

### Abstract

Multi Carrier-CDMA system is system based on combination CDMA and Multi Carrier modulation wave ( also known as OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing )). MC-CDMA is one of wireless digital communication technology is prepared for next generation. This system provide better performance in multipath propagation, robustness against fading and bandwidth efficiency . System MC-CDMA divided wide-band into N narrowband (i.e. subcarrier ) with each subcarrier encoded with phase offset of 0 or based on a spreading code. However MC-CDMA system have low performance when user moves effect to shift offset frequency noise phase, delay will increase when uses more subcarriers.

In this journal will be evaluated MC-CDMA system performance for single user and multi user in indoor environment mobile radio channel at uplink. This research is simulated on user movement of 0 Km/jam, 1.3 Km/jam, 3,3 Km/jam with variance of subcarrier 4, 8, 16. Study includes performance to fading as the effect of user s, interference at wide-band asynchronous MC-CDMA system and synchronous MC-CDMA system, and MRC and EGC detection technique.

The simulation result show,16 subcarriers give performance better than 4 subcarriers. in single user case if user movement increased performance system will be decrease for all variant of subcarrier. In multi user case wide-band asynchronous system have better performance since number of interference increase compared to wide-band synchronous MC-CDMA system. MC-CDMA at uplink MRC detection technique have better performance to EGC detection technique.

**Keywords :** Wideband MC-CDMA, asynchronous MC-CDMA, classic MC-CDMA

---

**ANALISA PERFORMANSI SISTEM WIDE BAND MC-CDMA  
PADA JARINGAN RADIO DI DALAM RUANGAN**

Eduardus Primus de Rosari<sup>1</sup>, Heroe Wijanto<sup>2</sup>, Budi Prasetya<sup>3</sup>  
[p\\_rosari@hotmail.com](mailto:p_rosari@hotmail.com)<sup>1</sup>, [hrw@sttelkom.ac.id](mailto:hrw@sttelkom.ac.id)<sup>2</sup>, [bpy@sttelkom.ac.id](mailto:bpy@sttelkom.ac.id)<sup>3</sup>  
 Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom

**Abstrak**

Sistem MC-CDMA (*multicarrier* CDMA), merupakan penggabungan sistem CDMA (Code Division Multiple Access) dimana CDMA digabungkan dengan OFDM (orthogonal frequency division modulation). MC-CDMA merupakan teknologi komunikasi digital *wireless* yang dipersiapkan untuk generasi mendatang. Kelebihan sistem MC-CDMA diantaranya ialah: sangat handal mengatasi propagasi multipath, dengan kemampuannya mengatasi *fading* dan penggunaan bandwidth yang efisien. Sistem MC-CDMA membagi kanal wideband menjadi beberapa kanal narrowband yang dikodekan dengan fasa offset 0 atau  $\pi$  pada kode penebar, namun sistem MC-CDMA juga memiliki kekurangan pada frekuensi offset ketika ada pergerakan user, sensitif terhadap fasa noise, delay akan bertambah ketika menggunakan jumlah subcarrier yang lebih banyak.

Pada jurnal ini, akan diuji performansi sistem MC-CDMA untuk *single user* dan *multiuser* pada kanal *mobile* lingkungan *indoor* pada arah *uplink*. Penelitian ini dilakukan pada pergerakan user adalah 0 Km/jam, 1.3 Km/jam, 3,3 Km/jam dengan menggunakan variasi subcarrier 4, 8, dan 16. Studi perbandingan meliputi fading akibat pergerakan user, interferensi pada sistem wideband asinkron MC-CDMA dan klasik MC-CDMA, dan teknik deteksi MRC dan EGC.

Dari hasil yang diperoleh, dengan menggunakan 16 subcarrier performansi sistem lebih baik dibandingkan menggunakan 4 subcarrier ditunjukkan dengan meningkatnya nilai BER. Pada kasus *single user* kecepatan pergerakan user makin cepat mengakibatkan kinerja sistem menurun untuk semua variasi subcarrier. Pada kasus *multi user* sistem wideband asinkron MC-CDMA lebih baik performansinya ketika jumlah *interference user* makin banyak dibandingkan sistem wideband klasik MC-CDMA. Pada sistem MC-CDMA *uplink* teknik deteksi MRC memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan EGC

**Kata kunci :** Wideband MC-CDMA, asinkron MC-CDMA, klasik MC-CDMA

**Abstract**

Multi Carrier-CDMA system is system based on combination CDMA and Multi Carrier modulation wave ( also known as OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing )). MC-CDMA is one of wireless digital communication technology is prepared for next generation. This system provide better performance in multipath propagation, robustness against fading and bandwidth efficiency . System MC-CDMA divided wide-band into N narrowband (i.e. subcarrier ) with each subcarrier encoded with phase offset of 0 or  $\pi$  based on a spreading code. However MC-CDMA system have low performance when user moves effect to shift offset frequency – noise phase, delay will increase when uses more subcarriers.

In this journal will be evaluated MC-CDMA system performance for single user and multi user in indoor environment mobile radio channel at uplink. This research is simulated on user movement of 0 Km/jam, 1.3 Km/jam, 3,3 Km/jam with variance of subcarrier 4, 8, 16. Study includes performance to fading as the effect of user's, interference at wide-band asynchronous MC-CDMA system and synchronous MC-CDMA system, and MRC and EGC detection technique.

The simulation result show,16 subcarriers give performance better than 4 subcarriers. in single user case if user movement increased performance system will be decrease for all variant of subcarrier. In multi user case wide-band asynchronous system have better performance since number of interference increase compared to wide-band synchronous MC-CDMA system. MC-CDMA at uplink MRC detection technique have better performance to EGC detection technique.

**Key Word :** Wideband MC-CDMA, asynchronous MC-CDMA, classic MC-CDMA

**I. PENDAHULUAN**

Sistem *Multicarrier* CDMA merupakan kombinasi dari teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan alokasi bandwidth lebih efisien, yang dikenal sebagai OFDM, dan teknik akses jamak yang handal dimana setiap user diberikan kode yang unik, yakni CDMA. Dari referensi [17-18], diperoleh bahwa sistem MC-CDMA sangat handal mengatasi *frequency selective multipath fading*, jika dibandingkan dengan CDMA. Hal ini sesuai dengan tujuan semula, yaitu untuk memberikan diversitas frekuensi pada sistem wideband. Semakin banyak jumlah subcarrier yang digunakan, maka semakin besar manfaat dari diversitas frekuensi yang diperoleh.

Beranjak dari hal tersebut maka pada tugas akhir ini, dilakukan penelitian tentang pengaruh system asinkron dan klasik MC-CDMA [16] pada kanal Rayleigh arah *uplink*. Dengan tujuan, untuk mengamati performansi akibat pengaruh kanal dan pengaruh banyak jumlah user terhadap kedua system asinkron dan klasik MC-CDMA.

**II. KONSEP DASAR MC-CDMA**

**2.1 Pengirim Asinkron MC-CDMA**

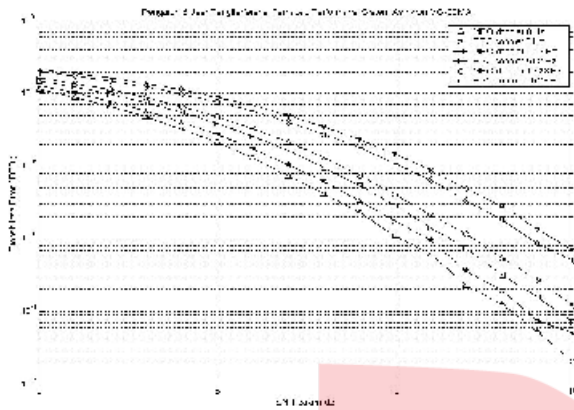
Pada gambar 2-1 menunjukkan model sistem pengirim W-MC-CDMA. Input data simbol,  $a_m(k)$  dengan

durasi simbol  $T_b$ , yang diasumsikan sebagai sinyal biner antipodal dimana  $k$  menunjukkan  $k$ th interval bit dan  $m$  menunjukkan  $m$ th user. Cabang  $i$ th (*subcarrier*) dari deretan paralel dikalikan dengan urutan,  $c_m(i)g_m^i(t - iT_c)$ , dimana  $g_m^i(t) \in \{C_0(t), C_1(t), \dots, C_{N-1}(t)\}$  dan  $c_m(i) \in \{-1, 1\}$ , dan dimodulasi dengan *subcarrier* yang berbeda spasi dengan *subcarrier* tetangganya sebesar  $F/T_b$  dimana  $F$  adalah integer.  $c_m(0), c_m(1), \dots, c_m(N-1)$  merepresentasikan kode acak semu dari  $m$ th user dengan periode  $T_c$  sebagai durasi chip. Dengan menggunakan pengkodean diharapkan memberikan kode yang berbeda untuk setiap user agar saling *orthogonal*, yakni :

$$\sum_{i=0}^{N-1} c_n(i)c_m(i) = N\delta_{n,m} \tag{2.1}$$

dimana  $\delta_{n,m}$  adalah simbol *kronecker*.

$\{C_0(t), C_1(t), \dots, C_{N-1}(t)\}$  dapat di set dengan beberapa urutan orthogonal yang dihasilkan oleh walsh hadamard dimana setiap urutan durasinya adalah  $T_c = T_b / N$ . Durasi chip dari beberapa urutan



Gambar 4-7 Pengaruh 6 user penginterferensi Terhadap sistem asinkron

Pada gambar 4-5 dan 4-6 dapat diamati dari hasil simulasi dengan teknik deteksi MRC dan EGC hasil yang jauh berbeda untuk sistem klasik MC-CDMA dan sistem klasik MC-CDMA misalnya untuk jumlah user 4 penginterferensi nilai BER dengan deteksi MRC untuk klasik dan asinkron adalah  $\pm 1.2 \times 10^{-1}$  dan  $\pm 1.8 \times 10^{-2}$  dan untuk deteksi EGC sistem klasik dan sistem asinkron adalah  $\pm 1.8 \times 10^{-1}$  dan  $2.6 \times 10^{-2}$ . Dari kedua gambar 4-8 dan 4-9 menunjukkan bahwa sistem asinkron MC-CDMA memiliki kinerja lebih baik dibandingkan dengan sistem klasik MC-CDMA pada saat penambahan jumlah user. Hal ini disebabkan karena bertambahnya jumlah user, maka akan meningkatkan komponen *Multi User Interference* (MUI), sehingga menyebabkan penurunan level daya terima. Gambar 4-7 menuntuk pengaruh doppler terhadap kinerja asinkron dengan jumlah user 6.

## V. KESIMPULAN dan SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mencapai BER =  $10^{-5}$  pada doppler 6.02 Hz dengan menggunakan 4 subcarrier  $SNR_{MRC} = \pm 14.6$  dB sedangkan dengan menggunakan 16 subcarrier  $SNR_{MRC} = \pm 8.7$  dB. Dari perbandingan tersebut didapatkan bahwa sistem MC-CDMA dengan menggunakan 16 subcarrier memiliki performansi lebih baik dari sistem MC-CDMA yang menggunakan 4 subcarrier.
2. Metode deteksi *Maximum Ratio Combining* (MRC) memiliki kinerja lebih baik dari pada *Equal Gain Combining* (EGC), dimana degradasi kinerja EGC  $\pm 0.5 - 1$  dB terhadap MRC, namun pada tahap implementasi MRC lebih kompleks dibandingkan EGC sehingga pada arah uplink lebih sering digunakan metode deteksi EGC karena sederhana dalam implementasi.
3. Pergeseran *Doppler* pada sistem komunikasi bergerak MC-CDMA berpengaruh pada kinerja sistem. Dengan 8 subcarrier untuk mencapai BER =  $10^{-3}$  pada pergeseran Doppler 0 Hz  $SNR_{MRC} = \pm 7.5$  dB sedangkan pada pergeseran Doppler 15.28 Hz  $SNR_{MRC} = \pm 11.5$  dB. Didapatkan bahwa performansi pada kecepatan user yang rendah performansinya lebih baik dibandingkan kecepatan user yang cepat.
4. Sistem klasik MC-CDMA mengalami degradasi kinerja lebih drastis dibandingkan dengan sistem asinkron MC-CDMA, pada BER =  $10^{-2}$  sistem klasik MC-CDMA hanya mampu melayani 3 user penginterferensi baik dengan metode MRC maupun EGC sedangkan sistem asinkron MC-CDMA mampu melayani sampai 8 user penginterferensi. Dari bukti diatas dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem asinkron MC-CDMA pada arah uplink lebih baik dibandingkan klasik MC-CDMA.

### 5.2 Saran

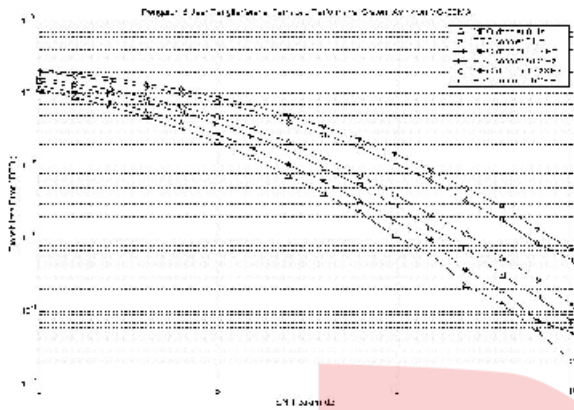
1. Pada penelitian ini hanya menggunakan kode penebar walsh Hadamard disarankan agar menggunakan kode penebar lain misalnya kode gold, kode goley agar menjadi pembanding dalam penggunaan kode penebar pada sistem MC-CDMA.

2. Disarankan untuk melakukan pemodelan MC-CDMA untuk komunikasi bergerak dengan jenis kanal multipath tidak hanya Rayleigh saja tetapi untuk yang lainnya seperti rician dan dilakukan untuk komunikasi *outdoor*.
3. Disarankan melakukan penelitian pada sistem MC-CDMA dengan menggunakan *Multirate Adaptive Multi-Carrier Code Division Multiple Access* pada kanal fading baik pada sistem asinkron MC-CDMA.

## VI. REFERENSI

- [1] Bouziani, M., Djebbari, A., Djebbar, A.B., Belbachir, M.F., and Rouvaen, J.M., *Performance Analysis of Wide Band MC-CDMA System in Indoor Wireless Radio Networks*,
- [2] Chuang, Dong-Ming and Gu, Yucong, *Communications System Design*, Literature Survey, EE382C Spring 1998, 13 maret 1998.
- [3] Gui, Xiang, Ng, Tung Sang, *Performance of Asynchronous Orthogonal Multicarrier Selective Fading Channel*, IEEE Trans. Com. Vol 47 No. 7, 1999.
- [4] Hara, Shinsuke, Prasad, Ramjee, *Overview of Multicarrier CDMA*, IEEE Communication Magazine, December 1997.
- [5] Hathi, Nishita, *Simulation of Multi-Carrier CDMA system for future wireless systems*, Department of Electronic and Electrical Engineering, University College London.
- [6] Jakes, William C., *Microwave Mobile Communication*, IEEE Press, 1974.
- [7] Lee, William C. Y., *Mobile Communication Design Fundamentals*, Wiley-Interscience, Singapore, 1993.
- [8] Peterson, Roger L., Ziemer, Rodger E., Borth, David E., *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Prentice Hall, 1995.
- [9] Pratama, Yudha, *Analisis Perbandingan Kinerja Sistem Asynchronous Multicarrier CDMA dan Sistem Direct Sequence CDMA*, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, 2001.
- [10] Putra, Bakti Darma, *Pengaruh Doppler Spread Pada Performansi Sistem Komunikasi Bergerak MC-CDMA*, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, 2001.77
- [11] Rhee, Man Young., *CDMA Cellular Mobile Communication and Network Security*, Prentice Hall, 1998.
- [12] Roden, Martin S., *Analog And Digital Communication System*, Prentice Hall, 1991.
- [13] Sklar, Bernard, *Digital Communication*, Prentice Hall, 1998.
- [14] Wong, Anna Wing Wah, *Comparison between DS-SS-CDMA and MC-CDMA*, Journal.
- [15] Wu, Tao, Schlegel, Christian, *Multipath Fading Channel Emulation*, journal, 1997.
- [16] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul and Fettwes, Gerhard, *Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Network*, IEEE/ICCC conference on Personal Indoor Mobile Radio Communication (PIMRC) and Wireless Computer Network (WCN), The Hague, 1994.
- [17] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul, *Multi-Carrier CDMA in an Indoor Wireless Radio Channel*, Final report 1993-1994 for MICRO Project 93-101.
- [18] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul, *Wiener Filtering of Multi-Carrier CDMA in a Rayleigh Fading Channel*, IEEE/ICCC conference on Personal Indoor Mobile Radio Communication (PIMRC) and Wireless Computer Network (WCN), The Hague, 1994.





Gambar 4-7 Pengaruh 6 user penginterferensi Terhadap sistem asinkron

Pada gambar 4-5 dan 4-6 dapat diamati dari hasil simulasi dengan teknik deteksi MRC dan EGC hasil yang jauh berbeda untuk sistem klasik MC-CDMA dan sistem klasik MC-CDMA misalnya untuk jumlah user 4 penginterferensi nilai BER dengan deteksi MRC untuk klasik dan asinkron adalah  $\pm 1.2 \times 10^{-1}$  dan  $\pm 1.8 \times 10^{-2}$  dan untuk deteksi EGC sistem klasik dan sistem asinkron adalah  $\pm 1.8 \times 10^{-1}$  dan  $2.6 \times 10^{-2}$ . Dari kedua gambar 4-8 dan 4-9 menunjukkan bahwa sistem asinkron MC-CDMA memiliki kinerja lebih baik dibandingkan dengan sistem klasik MC-CDMA pada saat penambahan jumlah user. Hal ini disebabkan karena bertambahnya jumlah user, maka akan meningkatkan komponen *Multi User Interference* (MUI), sehingga menyebabkan penurunan level daya terima. Gambar 4-7 menuntuk pengaruh doppler terhadap kinerja asinkron dengan jumlah user 6.

## V. KESIMPULAN dan SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mencapai BER =  $10^{-5}$  pada doppler 6.02 Hz dengan menggunakan 4 subcarrier  $SNR_{MRC} = \pm 14.6$  dB sedangkan dengan menggunakan 16 subcarrier  $SNR_{MRC} = \pm 8.7$  dB. Dari perbandingan tersebut didapatkan bahwa sistem MC-CDMA dengan menggunakan 16 subcarrier memiliki performansi lebih baik dari sistem MC-CDMA yang menggunakan 4 subcarrier.
2. Metode deteksi *Maximum Ratio Combining* (MRC) memiliki kinerja lebih baik dari pada *Equal Gain Combining* (EGC), dimana degradasi kinerja EGC  $\pm 0.5 - 1$  dB terhadap MRC, namun pada tahap implementasi MRC lebih kompleks dibandingkan EGC sehingga pada arah uplink lebih sering digunakan metode deteksi EGC karena sederhana dalam implementasi.
3. Pergeseran *Doppler* pada sistem komunikasi bergerak MC-CDMA berpengaruh pada kinerja sistem. Dengan 8 subcarrier untuk mencapai BER =  $10^{-3}$  pada pergeseran Doppler 0 Hz  $SNR_{MRC} = \pm 7.5$  dB sedangkan pada pergeseran Doppler 15.28 Hz  $SNR_{MRC} = \pm 11.5$  dB. Didapatkan bahwa performansi pada kecepatan user yang rendah performansinya lebih baik dibandingkan kecepatan user yang cepat.
4. Sistem klasik MC-CDMA mengalami degradasi kinerja lebih drastis dibandingkan dengan sistem asinkron MC-CDMA, pada BER =  $10^{-2}$  sistem klasik MC-CDMA hanya mampu melayani 3 user penginterferensi baik dengan metode MRC maupun EGC sedangkan sistem asinkron MC-CDMA mampu melayani sampai 8 user penginterferensi. Dari bukti diatas dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem asinkron MC-CDMA pada arah uplink lebih baik dibandingkan klasik MC-CDMA.

### 5.2 Saran

1. Pada penelitian ini hanya menggunakan kode penebar walsh Hadamard disarankan agar menggunakan kode penebar lain misalnya kode gold, kode goley agar menjadi pembanding dalam penggunaan kode penebar pada sistem MC-CDMA.

2. Disarankan untuk melakukan pemodelan MC-CDMA untuk komunikasi bergerak dengan jenis kanal multipath tidak hanya Rayleigh saja tetapi untuk yang lainnya seperti rician dan dilakukan untuk komunikasi *outdoor*.
3. Disarankan melakukan penelitian pada sistem MC-CDMA dengan menggunakan *Multirate Adaptive Multi-Carrier Code Division Multiple Access* pada kanal fading baik pada sistem asinkron MC-CDMA.

## VI. REFERENSI

- [1] Bouziani, M., Djebbari, A., Djebbar, A.B., Belbachir, M.F., and Rouvaen, J.M., *Performance Analysis of Wide Band MC-CDMA System in Indoor Wireless Radio Networks*,
- [2] Chuang, Dong-Ming and Gu, Yucong, *Communications System Design*, Literature Survey, EE382C Spring 1998, 13 maret 1998.
- [3] Gui, Xiang, Ng, Tung Sang, *Performance of Asynchronous Orthogonal Multicarrier Selective Fading Channel*, IEEE Trans. Com. Vol 47 No. 7, 1999.
- [4] Hara, Shinsuke, Prasad, Ramjee, *Overview of Multicarrier CDMA*, IEEE Communication Magazine, December 1997.
- [5] Hathi, Nishita, *Simulation of Multi-Carrier CDMA system for future wireless systems*, Department of Electronic and Electrical Engineering, University College London.
- [6] Jakes, William C., *Microwave Mobile Communication*, IEEE Press, 1974.
- [7] Lee, William C. Y., *Mobile Communication Design Fundamentals*, Wiley-Interscience, Singapore, 1993.
- [8] Peterson, Roger L., Ziemer, Rodger E., Borth, David E., *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Prentice Hall, 1995.
- [9] Pratama, Yudha, *Analisis Perbandingan Kinerja Sistem Asynchronous Multicarrier CDMA dan Sistem Direct Sequence CDMA*, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, 2001.
- [10] Putra, Bakti Darma, *Pengaruh Doppler Spread Pada Performansi Sistem Komunikasi Bergerak MC-CDMA*, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, 2001.77
- [11] Rhee, Man Young., *CDMA Cellular Mobile Communication and Network Security*, Prentice Hall, 1998.
- [12] Roden, Martin S., *Analog And Digital Communication System*, Prentice Hall, 1991.
- [13] Sklar, Bernard, *Digital Communication*, Prentice Hall, 1998.
- [14] Wong, Anna Wing Wah, *Comparison between DS-SS-CDMA and MC-CDMA*, Journal.
- [15] Wu, Tao, Schlegel, Christian, *Multipath Fading Channel Emulation*, journal, 1997.
- [16] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul and Fettwes, Gerhard, *Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Network*, IEEE/ICCC conference on Personal Indoor Mobile Radio Communication (PIMRC) and Wireless Computer Network (WCN), The Hague, 1994.
- [17] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul, *Multi-Carrier CDMA in an Indoor Wireless Radio Channel*, Final report 1993-1994 for MICRO Project 93-101.
- [18] Yee, Nathan and Linnartz, Jean-Paul, *Wiener Filtering of Multi-Carrier CDMA in a Rayleigh Fading Channel*, IEEE/ICCC conference on Personal Indoor Mobile Radio Communication (PIMRC) and Wireless Computer Network (WCN), The Hague, 1994.