

# Simulasi Dan Analisa Efek Doppler Terhadap OFDM Dan MC-CDMA

Ruliyanto, Rianto Nugroho

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional Jakarta

Korespondensi: Rully\_33@yahoo.co.id

**ABSTRAK.** Pada penelitian ini dilakukan Simulasi dan Analisa efek *Doppler* terhadap OFDM dan *Multi carrier* CDMA yang menggunakan *frekuensi carrier* 900 MHz dan 1800 MHz pada kanal AWGN dengan maksud untuk menghitung pengaruh *doppler* pada BER (*Bit Error Rate*) pada kecepatan *doppler* 20 m/s atas penerimaan OFDM dan MC-CDMA. Simulasi dan Analisa ini menggunakan piranti lunak *Javascript* untuk mendapatkan perbandingan jumlah kesalahan bit (*Bit Error Rate*) pada OFDM dan MC-CDMA. Dari hasil simulasi dengan menggunakan 2 jenis *frekuensi carrier* yang berbeda serta menggunakan  $E_b / N_o$  dari 1 dB hingga 20 dB maka BER pada MC-CDMA lebih bagus dari OFDM. Hal ini terlihat dari hasil BER yang dihasilkan, misalnya pada nilai  $E_b / N_o = 12$  dB dengan *frekuensi carrier* 1800 MHz, maka untuk OFDM memiliki nilai BER = 0.0159 sedangkan pada MC-CDMA memiliki BER = 0.0006.

**Kata kunci:** Efek doppler, OFDM, MC-CDMA, Kanal AWGN.

## PENDAHULUAN

Struktur penerima *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) memberikan pemrosesan sinyal secara langsung untuk mencegah *delay spread* secara relatif, dimana tujuan utama adalah untuk menggunakan metode modulasi OFDM. Dalam *Digital Audio Broadcasting* (DAB), penerimaan bergerak membawa kondisi saluran yang tidak menguntungkan, dengan kedua penyebaran frekuensi dan perubahan saluran yang tumbuh bersamaan dengan waktu. Hasil percobaan lapangan yang diadakan pada musim panas tahun 1999 oleh perusahaan Nokia, Deutsche Telecom, dan ZDF menawarkan komputasi yang bergerak dan penelusuran jaringan atas hubungan penyiaran *Digital Terrestrial Television Broadcasting* (DTTB) dengan sebuah saluran *Global System for Mobile Communication* (GSM). Hal ini melibatkan penerimaan OFDM atas saluran-saluran dengan sebuah *Doppler Spread* dan sesuai dengan perubahan waktu, yang dikenal untuk merusak orthogonal pembawa bentuk gelombang OFDM. Dalam hal ini *Inter-carrier Interference* (ICI) sebuah gangguan antar pembawa yang terjadi karena komponen sinyal dari satu pembawa mengalami satu gangguan pada pembawa cadangan di sekitarnya [1].

*Multi Carrier Code Division Multiple Access* (MC-CDMA) juga menggunakan tipe transmisi OFDM pada pengguna jamak *sinkronisasi* sinyal *Direct Sequence* (DS) -CDMA. Pada DS-CDMA yang konvensional, setiap penggunanya ada sedikit yang dipancarkan membentuk banyak rangkaian chip, yang mana tiap berdurasi pendek kemudian menjadi sebuah bandwidth yang luas. Dengan hal tersebut, karena adanya perubahan OFDM, Chip-chip MC-CDMA menjadi lama dalam durasi waktu, karena sempitnya ruang dalam bandwidth [1].

## LANDASAN TEORI

### Karakteristik Propagasi pada Kanal Komunikasi Bergerak.

Pada kanal radio ideal, sinyal yang diterima hanya terdiri dari sinyal langsung tunggal, yang merupakan sinyal yang dipancarkan. Akan tetapi, pada kanal yang sesungguhnya, sinyal mengalami perubahan selama transmisi.

Sinyal yang diterima terdiri dari sinyal yang kirim yang mengalami redaman, pantulan, pembelokan, dan hamburan. Kanal menambahkan derau kepada sinyal dan dapat menyebabkan suatu pergeseran frekuensi pembawa jika pemancar atau penerima bergerak (*Effect Doppler*) [2].

Kanal ideal memiliki respon frekuensi datar (*flat*) dan respon fasa linier terhadap lebar pita sinyal yang akan dikirim. Kanal yang tidak ideal mengalami *distorsi* sehingga respon frekuensi tidak datar dan respon fasa tidak linier. Jenis kanal tidak ideal yang paling sederhana adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) yang merupakan sistem transmisi linier yang tidak berubah terhadap waktu (*linear time invariant*) yang berasal dari derau termal pada penerima. Kanal AWGN terjadi pada komunikasi radio dimana kondisi *free space* dapat terpenuhi, tanpa adanya lintasan jamak (*multipath propagation*) [2].

### Komunikasi Spektrum Tersebar

Spektrum tersebar adalah teknologi penyebaran informasi dengan menggunakan pengkodean *Pseudo-noise* dan menggunakan bandwidth yang lebih lebar [5], yaitu sebesar 125 MHz dibandingkan dengan bandwidth minimum sebesar 26 MHz yang diperlukan pada sistem modulasi yang konvensional seperti AM, FM, FSK, atau PSK.

Prinsip utama komunikasi spektrum tersebar adalah pendudukan *bandwidth* jauh lebih lebar dari yang lain. Karena bandwidth yang lebih lebar, *power spectral density* lebih kecil, sehingga sinyal kelihatan seperti noise dalam kanal. Penyebaran dilakukan dengan menggabungkan sinyal data dan kode (*code division multiple access*), di mana kode ini independen terhadap data yang dikirimkan [6].

Ada beberapa teknik spektrum tersebar yang dapat digunakan. Yang paling populer adalah *Direct Spectrum* (DS), juga yang lumayan terkenal adalah *Frequency-Hopping* (FH). Kombinasi keduanya (DS/FH) menawarkan banyak keuntungan dan akan menjadi basis sistem yang diajarkan.

### Pola Spektrum Tersebar

Pemancar spektrum tersebar menggunakan pola *random* (acak) yang hanya dikenali oleh bagian penerima tertentu saja. Pola acak yang terbangkit tidak benar-benar acak, tetapi merupakan pola semi acak sehingga bagian penerima yang dituju dapat melakukan pembangkitan ulang untuk melindungi informasi yang dikirimkan [5]. Pola acak yang demikian dikenal sebagai semi acak (*pseudorandom*) atau dalam spektrum tersebar dikenal sebagai *pseudo noise* (PN).

### Sistem Spektrum Tersebar *Direct Sequences*.

Blok diagram modulator *direct sequence spread spectrum* (DS-SS) diberikan pada gambar 1a. Suatu sinyal pembawa pertama kali dimodulasi oleh sinyal data  $x(t)$ , selanjutnya sinyal termodulasi ini dimodulasi lagi dengan suatu sinyal yang memiliki tingkat penyebaran yang tinggi (*wide band*)  $g(t)$ . Suatu sinyal pembawa termodulasi oleh data dengan secara stabil atau tetap memiliki daya  $P$ , frekuensi sudut  $\omega_o$  dan *fase*  $\theta_x(t)$  seperti berikut:

$$S_x(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_o t + \theta_x t] \quad (1)$$

Proses modulasi berikutnya oleh penyebaran sinyal,  $g(t)$  memberikan bentuk gelombang yang siap ditransmisi sebagai:

$$S_x(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_o t + \theta_x t + \theta_g t] \quad (2)$$

Perhatikan bahwa fase pada carrier sekarang memiliki dua komponen:

- $\theta_x(t)$ : berkaitan dengan data
- $\theta_g(t)$ : berkaitan dengan penyebaran

Secara ekuivalen persamaan (1) dapat mewakili kondisi perkalian *carrier* dengan  $x(t)$  yang merupakan deretan sinyal biner antipodal +1 dan -1. Dalam hal ini nilai informasi 0 diwakili bentuk sinyal antipodal +1 sedangkan nilai informasi 1 diwakili oleh sinyal antipodal -1. Persamaan (1) selanjutnya memiliki bentuk:

$$S_x(t) = \sqrt{2P} x(t) \cos \omega_o t \tag{3}$$

Hal yang sama kita perlakukan untuk persamaan (2) dimana  $g(t)$  dinyatakan sebagai sekuen biner antipodal +1 dan -1.

$$S_x(t) = \sqrt{2P} x(t)g(t) \cos \omega_o t \tag{4}$$

Suatu modulator yang didasarkan pada persamaan (4) dapat diberikan dalam Gambar 1b Aliran pulsa data dan aliran penyebaran pulsa pada awalnya dikalikan, selanjutnya hasilnya  $x(t)g(t)$  digunakan untuk memodulasi *carrier*.

Proses demodulasi pada sinyal DS/BPSK dilakukan dengan mengkorelasi atau memodulasi sinyal yang diterima dengan suatu replikasi penyebaran sinyal yang sudah tersinkronisasi  $g(t-Td')$ . Seperti pada Gambar 1c, dimana  $Td'$  adalah estimasi penerima terhadap nilai *delay propagasi*  $Td$  dari pemancar menuju ke penerima [7].

**Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**

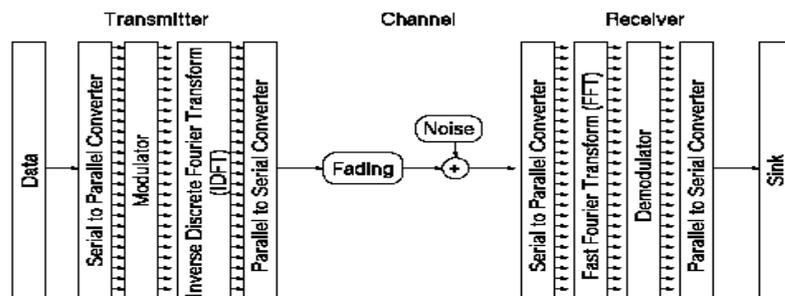
*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) adalah suatu teknik transmisi *multicarrier*, yang membagi spektrum yang tersedia ke dalam beberapa pembawa, dimana masing-masing pembawa dimodulasi oleh aliran data dengan kecepatan yang lebih rendah [8]. OFDM serupa dengan FDMA dalam pengertian akses beberapa pemakai dicapai dengan membagi lebar pita yang tersedia ke dalam berbagai kanal. Akan tetapi, OFDM menggunakan spektrum yang jauh lebih efisien dengan mengatur jarak kanal *subcarriernya*.

**Carrier Spacing pada OFDM**

Jika ada dua sinyal *berinterferensi* satu sama lain terpisah pada beda frekuensi yang senilai kelipatan bulat dari bandwidth sinyal, maka hal ini tidak akan memberi efek. Kondisi ini dapat dikembangkan dengan memperbanyak jumlah sinyal *carrier* yang masing-masing terpisah dengan nilai frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat *bandwidthnya*. Sehingga dapat memanfaatkan bandwidth saluran secara keseluruhan tanpa mengganggu kinerja system [4], yang dikenal sebagai *system orthogonal frequency division* (OFDM).

**Prinsip dasar OFDM**

OFDM adalah sebuah teknik transmisi dengan banyak frekuensi (*multicarrier*), menggunakan *Discrete Fourier Transfor* (DFT) [8]. Bagan dasar dari OFDM ditampilkan pada Gambar.3. Cara kerjanya adalah sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila bit rate semula adalah  $R$ , maka bit rate di tiap-tiap jalur parallel adalah  $R/M$  dimana  $M$  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 *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*), mengenai hal ini akan dijelaskan lebih lanjut. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim melalui kanal [8].



GAMBAR 3. Bagan Dasar OFDM [8].

Sedangkan pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, kemudian konversi

sinyal parallel dengan Fast Fourier Transform (FFT), setelah itu demodulasi, konversi parallel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi [8].

**Code Division Multiple Access**

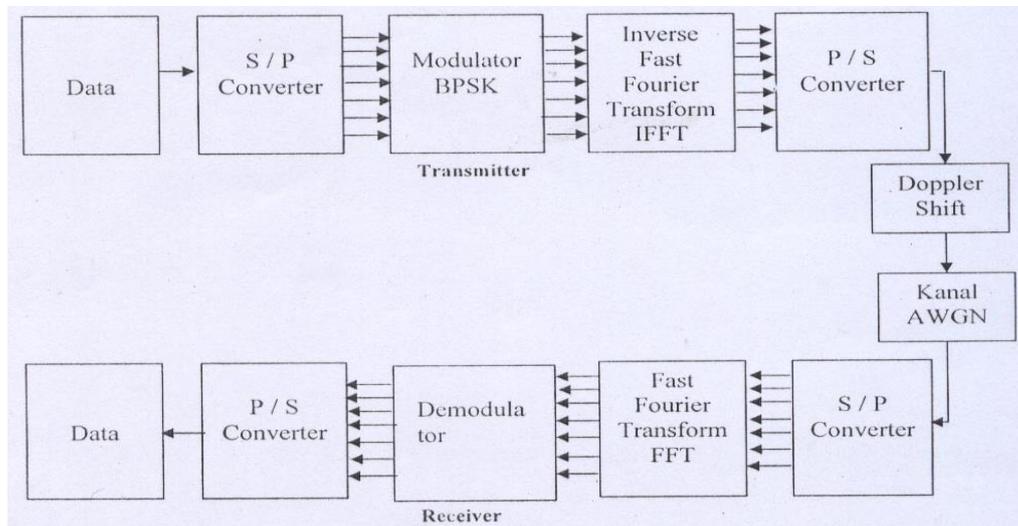
*Code Division Multiple Access* (CDMA) adalah sebuah teknik *spread spectrum* yang tidak menggunakan kanal frekuensi maupun *time slot*. Dengan CDMA, data (biasanya data suara digital) digandakan dengan sebuah sinyal dengan bandwidth yang lebar yaitu *pseudo random noise code* (PN code). Semua user pada sistem CDMA menggunakan band frekuensi yang sama dan ditransmisikan secara simultan. Sinyal yang ditransmisikan kemudian dikembalikan dengan cara menkorelasikan sinyal yang diterima dengan PN code yang digunakan stasiun penerima [3].

**Modulasi Multi carrier**

Prinsip dari *modulasi multicarrier* adalah mentransmisikan sebuah blok data binary dengan menggunakan banyak *ub-carrier* [10]. Akibatnya akan terdapat banyak *subchannel* yang masing-masingnya bersifat independent dan spektrum frekuensinya terisolasi satu dengan yang lain. Didalam prakteknya untuk mengimplementasikan sistem modulasi *multicarrier* adalah dengan cara melakukan *Orthogonal Digital Transformation* terhadap suatu blok data, yang dikenal dengan subchannelization [10].

**PERANCANGAN SIMULASI**

Pada Bab ini penulis akan menjelaskan tentang perancangan simulasi dari sistem OFDM dan MC-CDMA. Dimulai dari blok diagram *transmitter* dan *receiver* OFDM, blok diagram *transmitter* dan *receiver* MC-CDMA hingga parameter-parameter yang berada dalam OFDM dan MC-CDMA. Perancangan simulasi ini bertujuan untuk mensimulasikan sistem OFDM dan MC-CDMA dengan *efek Doppler* pada kecepatan 20 m/s pada kondisi kanal AWGN dan modulasi yang digunakan adalah BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Gambar 4 adalah gambar blok diagram dari OFDM dengan kanal AWGN.



**GAMBAR 4.** Blok Diagram *Transmitter* dan *Receiver* OFDM [8].

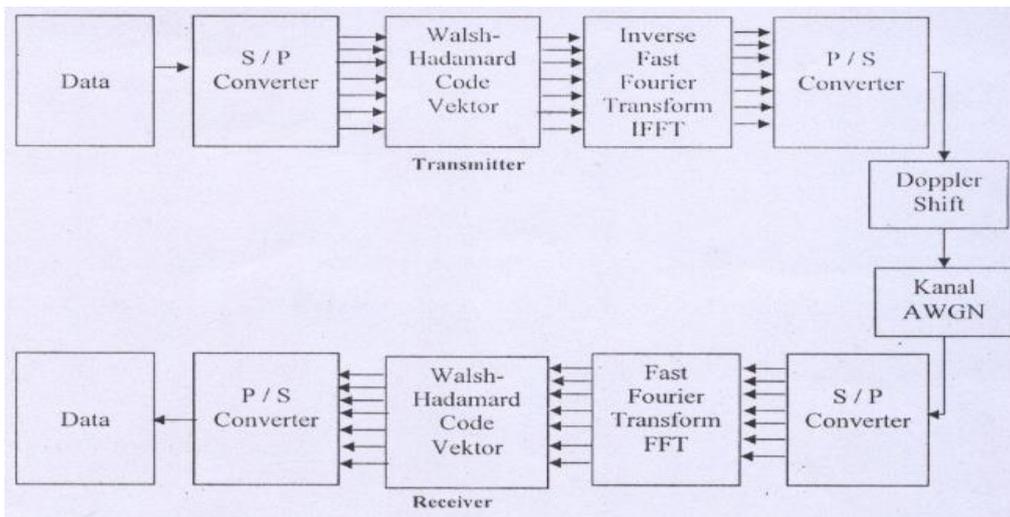
Cara kerja blok diagram OFDM adalah menjelaskan deretan data informasi yang akan di kirim dikonversikan ke dalam bentuk parallel, Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*, modulasi ini berupa BPSK. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut di aplikasikan ke dalam Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Setelah itu sinyal dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal di teruskan kedalam *Doppler Shift* dimana sinyal akan dinormalisasi karena pergeseran frekuensi. Kemudian sinyal diteruskan ke dalam kanal, sinyal yang telah di terima di dalam kanal kemudian akan ditambahkan noise secara

acak sehingga sinyal yang dihasilkan akan berupa data yang dikirimkan sebelumnya setelah itu sinyal tersebut akan di kirimkan.

Sedangkan pada sisi *receiver*, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang di lakukan di sisi *transmitter*. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, kemudian konversi sinyal parallel dengan Fast Fourier Transform (FFT), setelah itu demodulasi, konversi parallel ke serial, dan kembali menjadi bentuk data informasi [8].

**Blok Diagram Transmitter dan Receiver MC-CDMA**

Gambar 5 adalah gambar Blok diagram dari MC-CDMA dengan kanal AWGN.



**GAMBAR 5.** Blok Diagram *Transmitter* dan *Receiver* MC-CDMA [8], [11].

Cara kerja blok diagram MCDMA adalah menjelaskan deretan data informasi yang akan di kirim dikonversikan ke dalam bentuk paralel Pada sisi *Walsh-hadamard code Vector* dilakukan pengkodean dengan menggunakan *hadamard matriks*, yang mana pada tiap baris kode matrik digunakan sebagai kode tiap sinyal dengan elemen biner.

Kemudian sinyal yang telah dikodekan tersebut di aplikasikan ke dalam Inverse Fast Fourier Transform (IFFT). Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Setelah itu sinyal dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal di teruskan kedalam *Doppler Shift* dimana sinyal akan dinormalisasi karena pergeseran frekuensi. Kemudian sinyal diteruskan ke dalam kanal, sinyal yang telah di terima di dalam kanal kemudian akan ditambahkan noise secara acak sehingga sinyal yang dihasilkan akan berupa data yang dikirimkan sebelumnya setelah itu sinyal tersebut akan di kirimkan.

Sedangkan pada sisi *receiver*, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang di lakukan di sisi *transmitter*. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, kemudian konversi sinyal parallel dengan Fast Fourier Transform (FFT), setelah itu pengkodean *walsh hadamard*, konversi parallel ke serial, dan kembali menjadi bentuk data informasi [8].

Setiap simbol data pada sistem BPSK memodulasi fase pada *frekuensi carrier* yang lebih tinggi. Diagram berikut ini menunjukkan bagaimana bentuk time domain dari system BPSK yang berupa *carrier* termodulasi oleh 8 simbol. Bit-bit data dapat berubah 1 atau 0 sesuai nilai informasi yang diwakilinya. Di dalam domain frekuensi, efek pergeseran fase dalam *carrier* berupa bentuk perluasan bandwidth yang yang dipakai sinyal BPSK pada suatu fungsi *sinc*. Nilai nol pada fungsi *sinc* terjadi pada frekuensi simbol interval [12].

**Kode Hadamard**

Kode *Hadamard* adalah teknik *coding* dengan cara memilih baris dari *matriks hadamard*. Kode *Hadamard* dihasilkan dengan menggunakan *hadamard matriks*, yang merupakan matrik segiempat dengan elemen biner, dan berdimensi kelipatan 2 [13].

Bentuk umumnya seperti pada persamaan (5).

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}; \text{ untuk } N = 2^m \tag{5}$$

dimana  $m \geq 0$  (integer positif) dan  $\overline{H_N}$  merupakan inverter dari  $H_N$  [13].

*Doppler Shift* merupakan perubahan frekuensi atau pergeseran frekuensi radio yang disebabkan oleh gerakan stasiun penerima. Sinyal yang diterima memiliki persamaan (6) sebagai berikut [2]:

$$y(n) = x(n)e^{\frac{j2\pi n \epsilon}{N}} + w(n) \tag{6}$$

di mana  $\epsilon$  adalah *offset* frekuensi yang dinormalisasi, dan diberikan dengan  $fNTs$ ,  $f$  adalah beda frekuensi antara frekuensi *carrier* yang dikirim dan yang diterima,  $T$  adalah periode *symbol sub-carrier*,  $w(n)$  adalah AWGN yang dipakai dalam saluran [2].

Kemudian sinyal yang keluar dari modulator akan masuk ke dalam kanal dan tentu saja pada sinyal yang dibawa tersebut terdapat noise. Noise bisa dinyatakan sebagai sinyal elektrik yang muncul secara acak dan tidak terprediksi. Ketika sebuah variabel (nilai) acak ditambahkan ke suatu informasi yang dibawa oleh sebuah sinyal, informasi tersebut mungkin sekali akan mengalami perubahan atau suatu kondisi terburuk dapat terjadi dimana informasi tersebut tidak dapat dikenali sesuai bentuk aslinya [5]. Pada simulasi ini kanal yang digunakan adalah kanal AWGN

Demodulator merupakan proses kebalikan dari modulasi, yaitu melakukan pengubahan simbol-simbol kompleks hasil keluaran FFT menjadi bit-bit symbol. Pada keluaran sistem ini diikuti dengan proses *parallel to serial* data [2].

Hasil keluaran pada simulasi ini adalah berupa data yang diterima jumlah kesalahan bit yang diterima, *Bit Error Rate*. Dimana rumus untuk mencari *BER* adalah:

$$BER = \frac{\text{Jumlah Kesalahan bit yang diterima}}{\text{Bit yang diterima}} \tag{3}$$

*Bit Error Rate* merupakan suatu ukuran kualitas sinyal yang diterima oleh suatu sistem digital [5]. Besarnya *Bit Error Rate* tergantung pada modulasi dan perbandingan antara sinyal yang diinginkan dengan sinyal pengganggu (derau atau interferensi ).

### HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab ini penulis akan menjelaskan tentang proses simulasi dan analisa OFDM dan MC-CDMA dengan frekuensi *carrier* 900 MHz dan 1800 MHz. Dalam simulasi ini menggunakan program *JavaScript* yang menggunakan teknik modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) untuk mendapatkan suatu *Bit Error Rate* (BER).

Dalam melakukan simulasi ini penulis melakukan variasi pada frekuensi *carrier* dan parameter-parameter pada kanal sehingga akan didapatkan suatu bit error rate yang paling kecil. Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ini diberikan pada tabel 1.

TABEL 1. Parameter Input.

Parameter	Besarnya masukan
Frekuensi <i>Carrier</i>	900 MHz, 1800 MHz
Speed	20 m/s
Subcarrier	64
Kanal	AWGN
$E_b / N_o$	1-20 dB

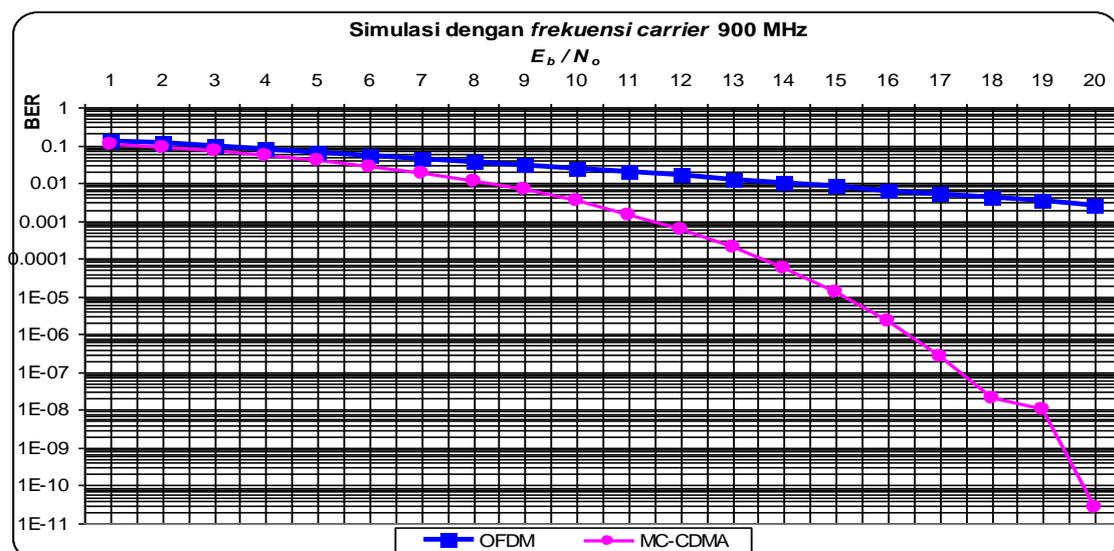
Tabel 1 digunakan sebagai acuan untuk menjalankan simulasi OFDM dan MC-CDMA dengan kecepatan 20 m/s dan menggunakan 2 jenis frekuensi *carrier* yang berbeda.

Hasil simulasi dan analisa dari kinerja sistem OFDM dan MC-CDMA dengan *speed* 20 m/s pada frekuensi *carrier* 900 MHz dapat dilihat pada data hasil simulasi yang terdapat pada tabel 2.

**TABEL 2.** Hasil simulasi dengan *frekuensi carrier* 900 MHz.

Eb/No. (dB)	Bit Error Rate	
	BPSK OFDM	BPSK MC-CDMA
1	0.13074	0.11
2	0.11217	0.0895
3	0.09523	0.0707
4	0.08008	0.0538
5	0.06675	0.0394
6	0.05521	0.0274
7	0.04535	0.0181
8	0.03704	0.0113
9	0.0301	0.0065
10	0.02436	0.0035
11	0.01964	0.0015
12	0.0158	0.0006
13	0.01268	0.0002
14	0.01015	6E-05
15	0.00812	1E-05
16	0.00649	2E-06
17	0.00518	3E-07
18	0.00414	2.07E-08
19	0.0033	9.89E-09
20	0.00263	2.6E-11

Tabel 2 merupakan hasil simulasi dengan frekuensi *carrier* 900 MHz dengan *Doppler spread* sebesar 60 Hz s dengan kecepatan 20 m/s serta  $E_b / N_o$  yang berbeda-beda dan akibat adanya derau maka akan dihasilkan suatu *Bit Error* yang berbeda-beda hingga dihasilkan suatu *Bit Error* yang paling kecil. Berdasarkan dengan hasil tabel dari hasil simulasi maka grafiknya dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini.



**GAMBAR 8.** Grafik BER dengan *frekuensi carrier* 900 MHz.

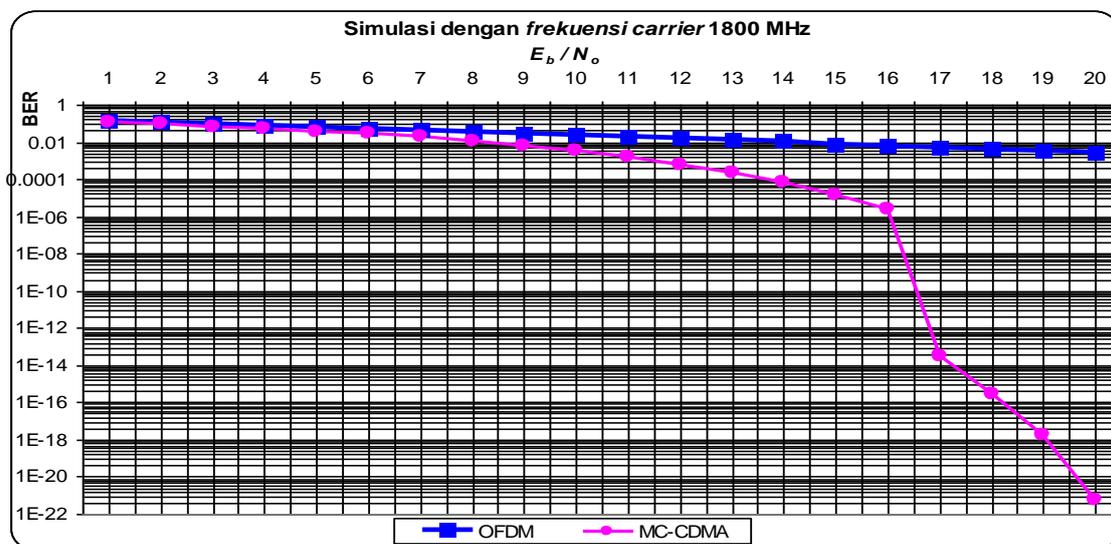
Berdasarkan dari hasil simulasi tabel 2 dan gambar 8 memperlihatkan bahwa *Bit Error* pada OFDM dan MC-CDMA akan mencapai hasil yang paling kecil pada saat  $E_b / N_o$  pada posisi 20 dB. Dapat dilihat bahwa *Bit Error* pada MC-CDMA mencapai hasil yang paling kecil. Kedua nilai BER diatas, didapat dalam satu simulasi atau bukan simulasi yang terpisah.

Hasil simulasi dan analisa dari kinerja sistem OFDM dan MC-CDMA dengan *speed* 20 m/s pada frekuensi *carrier* 1800 MHz dapat dilihat pada data hasil simulasi yang terdapat pada tabel 3.

TABEL 3. Hasil simulasi dengan *frekuensi carrier* 1800 MHz.

$E_b/N_o$ . (dB)	Bit Error Rate	
	BPSK OFDM	BPSK MC-CDMA
1	0.13087	0.1103
2	0.1123	0.0898
3	0.09537	0.0709
4	0.08022	0.0541
5	0.06688	0.0396
6	0.05534	0.0276
7	0.04548	0.0183
8	0.03716	0.0114
9	0.03022	0.0066
10	0.02448	0.0036
11	0.01976	0.0015
12	0.01592	0.0006
13	0.0128	0.0002
14	0.01027	6E-05
15	0.00824	1E-05
16	0.00661	3E-06
17	0.0053	0
18	0.00425	0
19	0.00342	0
20	0.00275	0

Tabel 3 merupakan hasil simulasi dengan frekuensi *carrier* 1800 MHz dengan *Doppler spread* sebesar 120 Hz dengan kecepatan 20 m/s serta  $E_b / N_o$  yang berbeda-beda dan akibat adanya derau maka akan dihasilkan suatu *Bit Error* yang berbeda-beda hingga dihasilkan suatu *Bit Error* yang paling kecil. Berdasarkan dengan hasil tabel dari hasil simulasi maka grafiknyadapat dilihat di bawah ini.



GAMBAR 9. Grafik BER dengan *frekuensi carrier* 1800 MHz.

Berdasarkan dari hasil simulasi tabel 3 dan gambar 9 memperlihatkan bahwa *Bit Error* pada OFDM dan MC-CDMA akan mencapai hasil yang paling kecil pada saat  $E_b / N_0$  pada posisi 17 dB. Dapat dilihat bahwa *Bit Error* pada MC-CDMA mencapai hasil yang paling kecil. Kedua nilai BER diatas, didapat dalam satu simulasi atau bukan simulasi yang terpisah.

Analisa hasil simulasi OFDM dan MC-CDMA dengan menggunakan teknik modulasi BPSK yang menggunakan frekuensi *Carrier* 900 MHz dan 1800 MHz yang mempunyai batas interval  $E_b / N_0$  1 sampai 20 dB berdasarkan grafik perbandingan nilai BER pada OFDM dan MC-CDMA. Analisa dengan menggunakan frekuensi *carrier* 900 MHz akan menghasilkan *Doppler spread* sebesar 60 Hz. Berdasarkan grafik BER pada Gambar 8 dan tabel pada Tabel. 2 bahwa nilai BER yang dihasilkan pada MC-CDMA jauh lebih rendah daripada BER pada OFDM. Ini karena MC-CDMA menggunakan bentuk rangkaian *Walsh Hadamard* dengan sebuah pengoperasian matrik  $N \times N$  untuk menghindari kesalahan bit yang berlebihan pada *subcarrier* [11].

Analisa dengan menggunakan frekuensi *carrier* 1800 MHz akan menghasilkan *Doppler spread* sebesar 120 Hz. Berdasarkan grafik BER pada gambar 9 dan pada tabel.3 bahwa nilai BER yang dihasilkan pada MC-CDMA jauh lebih rendah daripada BER pada OFDM. Bahkan untuk mendapatkan nilai BER = 0 sistem hanya memerlukan nilai  $E_b / N_0$  sebesar 17 dB, sedangkan untuk OFDM BER yang didapat pada  $E_b / N_0$  sebesar 20 dB hanya sebesar 0.00275. Ini karena MC-CDMA menggunakan bentuk rangkaian *Walsh Hadamard* dengan sebuah pengoperasian matrik  $N \times N$  untuk menghindari kesalahan bit yang berlebihan pada *subcarrier* [11].

## KESIMPULAN

Dari simulasi tampak bahwa sistem OFDM dibanding MC-CDMA lebih bagus MC-CDMA, baik pada frekuensi *carrier* 900 MHz maupun 1800 MHz. Sebagai contoh, pada nilai  $E_b / N_0$  sebesar 20 dB pada frekuensi *carrier* 900 MHz, maka nilai BER pada OFDM = 0.00263, sedangkan BER pada MC-CDMA = 2.6E-11. sedangkan pada frekuensi *carrier* 1800 MHz BER pada OFDM = 0.00275 dan BER pada MC-CDMA = 0.

Dari hasil simulasi bahwa MC-CDMA dapat beroperasi dalam kanal dengan waktu yang lama dengan tingkat kesalahan bit (*bit error*) yang memuaskan.

## REFERENSI

- [1] [Http://wireless.per.nl/reference/chaptr0\\_5/ofdm/ofdm.htm](http://wireless.per.nl/reference/chaptr0_5/ofdm/ofdm.htm)
- [2] Ruliyanto, "Unjuk Kerja ICI Self Cancellation pada Sistem Fast-OFDM", Thesis Pasca Sarjana UI, Depok 2003.
- [3] Muhyil Asyrof, "Simulasi kanal Rayleigh Fading pada sistem komunikasi Nirkabel", Skripsi UNAS, Jakarta 2005.
- [4] [Http://www.google.com/ofdm/teknologi](http://www.google.com/ofdm/teknologi) digital dimasa datang, SYSCOM /New\_Mod digital/.doc
- [5] Eko Sukrisna, "Analisa dan Simulasi sistem Bluetooth dengan frekuensi hopping pada kanal AWGN", Skripsi UNAS, Jakarta 2005.
- [6] J. Meel, Ir, *Studiedag Spread Spectrum*, DeNayyer Instituut, oktober 1999, pp.9-14
- [7] [Http://www.google.com./spread\\_spektrum/teknologi](http://www.google.com./spread_spektrum/teknologi) digital dimasa datang. Sistem Modulasi Spread Spektrum, SYSCOM/New\_Moddigital/Bab 3\_fsk. Doc
- [8] [Http://www.google.com./ofdm/mengenal\\_teknologi\\_frequency\\_division\\_multiplexing\\_ofdm\\_pada\\_komunikasi\\_wireless.com](http://www.google.com./ofdm/mengenal_teknologi_frequency_division_multiplexing_ofdm_pada_komunikasi_wireless.com)
- [9] Jerry D. Gibson, "Code division Multiple Acces", 1996
- [10] R. Prasad, S Hara, "An overview of multicarrier CDMA", IEE Comunication Magazine, Desember 1997.
- [11] [Http://wireless.per.nl/reference/chaptr05/mccdma/mccdma.htm](http://wireless.per.nl/reference/chaptr05/mccdma/mccdma.htm)
- [12] [Http://www.google.com./ofdm/teknik](http://www.google.com./ofdm/teknik) single user dan multi user. /com
- [13] [Http://www.google.com./chanel](http://www.google.com./chanel) coding dan matriks. /com