

# Reduksi *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) Menggunakan Teknik *Clipping*

Muhammad Fitrah Sugita<sup>1</sup>, Risanuri Hidayat<sup>2</sup>, Sri Suning Kusumawardhani<sup>2</sup>

**Intisari**—Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) memiliki kelemahan yang terletak pada tingginya variasi daya. Variasi daya ini dinyatakan dalam *peak-to-average power ratio* (PAPR). PAPR merupakan perbandingan antara daya maksimum dan daya rata-rata sinyal OFDM pada rentang waktu tertentu. Nilai PAPR yang tinggi akan mengakibatkan distorsi nonlinear saat beroperasi pada perangkat non linear seperti high power amplifier (HPA). Oleh karena itu, dibutuhkan teknik untuk mereduksi nilai PAPR. Dalam tugas akhir ini, dilakukan simulasi reduksi PAPR dengan menggunakan teknik clipping. Reduksi PAPR dilakukan dengan melakukan clipping terhadap sinyal keluaran blok IFFT yang memiliki nilai PAPR melebihi clipping level yang nilainya ditentukan oleh clipping ratio yang dalam pengujian ini menggunakan nilai clipping ratio 0,8 dan 1,4. Penggunaan clipping ini memberikan pengaruh peningkatan kualitas complimentary cumulative distribution function (CCDF) dan penurunan kualitas Bit Error Rate (BER). Dan diketahui bahwa semakin kecil nilai clipping ratio maka peningkatan kualitas CCDF akan semakin tinggi dan penurunan kualitas BER akan semakin besar.

**Abstract**—Frequency Division Multiplexing (OFDM) has a weakness that lies at the high power variation. Power variation is stated in *peak-to-average power ratio* (PAPR). PAPR is the ratio between the maximum and average power of OFDM signal at the certain time frame. High PAPR value will result in nonlinear distortion when operating on non linear devices such as high power amplifier (HPA). Therefore, it is necessary to find way to reduce PAPR value. In this paper, we used PAPR reduction simulation using clipping techniques. PAPR reduction is done by clipping of the output signal of IFFT block which has a PAPR value exceeds the clipping level. Clipping value is determined by the ratio of the test using the clipping ratio is 0.8 and 1.4. Clipping provides complimentary cumulative effect of improving the quality of the distribution function (CCDF) and decreased quality of Bit Error Rate (BER). Finally, the smaller the value of the clipping ratio CCDF quality improvement will be higher and the BER degradation will be even greater.

**Kata kunci**— OFDM, PAPR, Clipping, Filtering, BER, CCDF.

## I. PENDAHULUAN

Layanan komunikasi data pada saat ini semakin beragam dan membutuhkan laju data yang semakin tinggi dan pemakaian lebar bidang yang semakin efisien.

Pada media udara, laju data yang semakin tinggi harus diimbangi dengan kemampuan sistem untuk mengatasi efek lintasan jamak agar data yang dikirimkan dapat dengan baik diterima di penerima. Sistem modulasi yang dapat dengan baik mengatasi masalah lintasan jamak ini adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Selain mampu mengatasi efek lintasan jamak,

OFDM menggunakan lebar bidang secara lebih efisien mengingat sifatnya yang tegak lurus/ orthogonal.

Sebuah lebar bidang, dalam sistem OFDM, dibagi menjadi sejumlah kanal yang disebut dengan sub-kanal. Sub-kanal yang satu dengan lainnya bersifat independen. Masing-masing sub-kanal ini memiliki satu buah pembawa yang disebut dengan sub-pembawa. Sehingga, dalam kawasan waktu, sinyal OFDM merupakan superposisi dari sub-pembawanya. Tiap-tiap sub-kanal biasanya menggunakan modulasi PSK dan QAM.

Superposisi dari sub-sub pembawa tersebut menyebabkan timbulnya fenomena PAPR yang terjadi dalam OFDM. PAPR ini merugikan bila dilihat dari sisi elektronis pengirim.

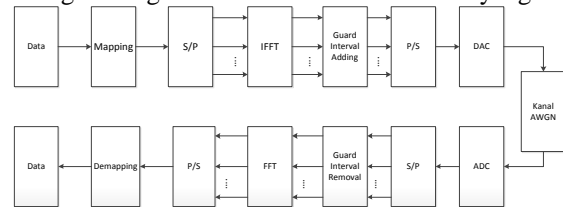
Sinyal OFDM yang terbentuk terkait erat dengan modulasi yang digunakan. Penulisan ini mengkaji pengaruh modulasi, yakni PSK dan QAM, pada nilai PAPR yang terjadi.

Makalah ini membatasi masalah PAPR pada sinyal OFDM termodulasi BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, dan pengaruh cacah sub-pembawa terhadap PAPR.

## II. OFDM

OFDM adalah skema transmisi data paralel yang efisien, di mana pesat data tinggi dapat dicapai dengan cara mengirimkan sejumlah subpembawa yang ortogonal. OFDM merupakan pengembangan teknik transmisi dari sistem penjamakan FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Keunggulan utama OFDM adalah pada kemampuan efisiensi lebar pita frekuensi (*bandwidth*) yang tidak dimiliki oleh sistem penjamakan FDM[5]. Gbr. 1 menunjukkan diagram blok pada *transmitter* dan *receiver*, termasuk blok IFFT dan FFT[1]. Masing-masing blok akan dibahas dalam bagian selanjutnya.

*Transmitter* OFDM memetakan bit-bit ke dalam simbol *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Yang kemudian akan diubah menjadi sejumlah N paralel. Masing-masing akan dibawa oleh *subcarrier* yang



Gbr. 1 Diagram skematik sistem OFDM [1]

berbeda-beda. Karena adanya proses pengubahan serial ke paralel, maka durasi simbol akan bertambah panjang, yaitu dari  $T_s$  menjadi  $NT_s$ .

Pada Gbr. 1 terlihat bahwa data dihasilkan oleh blok data, selanjutnya data berbentuk serial ini diubah menjadi berbentuk paralel oleh blok S/P agar masukan sesuai dengan jalur yang dibutuhkan oleh blok IFFT. Sinyal keluaran blok S/P yang berbentuk bit diubah ke bentuk

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

kompleks oleh blok *mapper* yang selanjutnya sinyal kawasan frekuensi ini diubah ke kawasan waktu oleh blok IFFT.

Untuk mencegah terjadinya interferensi antar simbol (ISI) sinyal kawasan waktu ini dilengkapi dengan *guard interval* (GI).

Sinyal selanjutnya dikirimkan melalui kanal *wireless* dan mengalami gangguan yang berupa *additive white Gaussian Noise* (AWGN). AWGN merupakan tipe kanal yang membangkitkan *noise* secara acak..

Selanjutnya sinyal diterima oleh *receiver*. Pada bagian awal sinyal yang tadinya berbentuk serial diubah kembali ke bentuk parallel agar sesuai dengan jalur masukan FFT.

Kemudian *guard interval* yang bukan merupakan bagian data utama dibuang dengan blok *guard interval removal*.

Selanjutnya sinyal kawasan waktu dikembalikan ke kawasan frekuensi oleh blok FFT, kemudian sinyal kompleks ini diubah ke bentuk bit oleh blok *demapper*. Selanjutnya bit berbentuk parallel dirubah kembali menjadi bentuk serial oleh blok P/S. dan akhirnya diperoleh bit masukan.

### III. PAPR

Perbandingan antara daya puncak dan daya rata-rata sinyal gabungan disebut dengan PAPR (*Peak-to Average Power Ratio*), yang didefinisikan pada (1) sebagai [2],

$$PAPR = \frac{P_{puncak}}{P_{rerata}} \quad (1)$$

Daya puncak diperoleh dari nilai kuadrat amplitude maksimum sinyal, yang didefinisikan pada (2) sebagai,

$$P_{puncak} = \max |s(t)|^2 \quad (2)$$

Daya rerata diperoleh dari daya rerata simbol-simbol dalam suatu konstelasi, yang didefinisikan pada (3) sebagai,

$$P_{rerata} = E(|s(t)|^2) \quad (3)$$

Sedangkan rumusan sinyal bidang dasar (*baseband*) kompleks untuk satu simbol OFDM dengan  $N$  buah sub-pembawa yakni pada (4) [2],

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N a_n e^{j\omega t} \quad (4)$$

dengan  $a_n$  = simbol OFDM dan  $N$  adalah jumlah titik FFT

Dari aspek elektronis, sinyal dengan PAPR tinggi menjadi suatu masalah tersendiri. Sinyal dengan PAPR tinggi memerlukan penguat daya yang sangat linear pada sisi pengirim. Artinya, penguat daya harus bekerja dibawah titik saturasinya. Tetapi hal tersebut harus 'dibayar' dengan penggunaan daya yang boros pada pengirim, dan pada penerima bergerak [2]. Sedangkan penggunaan penguat daya yang bekerja di sekitar titik saturasi, dalam hal ini, akan menghasilkan distorsi sinyal dan *out of band radiation*.

PAPR yang tinggi juga memerlukan penguat digital-ke-analog dan analog-ke-digital yang jangkauan dinamisnya

besar. Jangkauan dinamis yang besar diperlukan agar derau kuantisasi yang dihasilkan tetap berada di bawah batas yang diinginkan. Akibatnya, penguat menjadi tidak efisien [2].

### IV. REDUKSI PAPR MENGGUNAKAN TEKNIK CLIPPING

Terdapat beberapa jenis reduksi PAPR yang secara garis besar dibagi menjadi 2, yaitu reduksi yang menyebabkan kecacatan sinyal dan tidak. Yang termasuk ke dalam jenis menyebabkan kecacatan sinyal antara lain *clipping*, sedangkan yang tidak menyebabkan kecacatan sinyal adalah teknik *scrambling* yang di dalamnya terdapat *selective mapping*, *partial transmit sequence*, serta *coding*, dsb [3].

*Clipping* adalah skema pendekatan paling mudah untuk mereduksi PAPR, yang membatasi maksimum transmisi sinyal ke tingkat yang ditentukan. Namun, memiliki kekurangan diantaranya adalah teknik *clipping* menyebabkan distorsi sinyal *in-band*, yang mengakibatkan penurunan kinerja BER, dan teknik *clipping* juga menyebabkan radiasi *out-of-band*, yang menetapkan gangguan sinyal *out-of-band* ke saluran yang berdekatan [3].

Proses *clipping* dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut yaitu keluaran dari blok IFFT Oversampling selanjutnya diumpan ke blok *clipping*. Pada blok *clipping* dilakukan beberapa langkah berikut, antara lain:

Langkah pertama yang dilakukan pada blok *clipping* adalah Menghitung rata-rata dari sinyal keluaran IFFT Oversampling. Penghitungan rata-rata dilakukan dengan (5) berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} s[n]}{N} \quad (5)$$

Dimana  $s[n]$  adalah sinyal keluaran,  $\bar{x}$  adalah rata-rata dan  $N$  adalah jumlah titik sinyal keluaran IFFT.

Langkah kedua yang dilakukan pada blok *clipping* setelah dari keluaran sinyal IFFT adalah menghitung standar deviasi. Penghitungan standar deviasi ( $\sigma$ ) dilakukan dengan (6).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N}} \quad (6)$$

Dengan  $X_n$  adalah sinyal diskret kawasan waktu untuk waktu ke- $n$ ,  $\bar{X}$  adalah nilai rata-rata sinyal,  $N$  adalah jumlah titik sinyal IFFT.

Langkah ketiga yang dilakukan pada blok *clipping* setelah menghitung rata-rata, varians dan standar deviasi dari adalah mencari *clipping level* ( $A$ ). *clipping level* adalah batas nilai maksimum sinyal yang akan dilewatkan dan selanjutnya dikirim ke kanal. Pencarian *clipping level* ( $A$ ) dilakukan dengan Persamaan 7.

$$A = CR * \sigma \quad (7)$$

Dengan CR adalah *clipping ratio* yang menunjukkan seberapa besar sinyal dipotong. Semakin kecil nilai *clipping ratio*, maka semakin banyak bagian sinyal yang dipotong

Langkah selanjutnya adalah melakukan *clipping* dengan ketentuan seperti pada Persamaan 8.

$$x_{cl} = \begin{cases} -Ax_t & \leq -A \\ x_t |x_t| < A \\ Ax_t & \geq A \end{cases} \quad (8)$$

dimana A adalah tingkat *clipping* yang ditentukan,  $x_t$  adalah keluaran dari IFFT oversampling,  $x_{cl}$  adalah sinyal yang telah di-*clipping*.

TABEL I

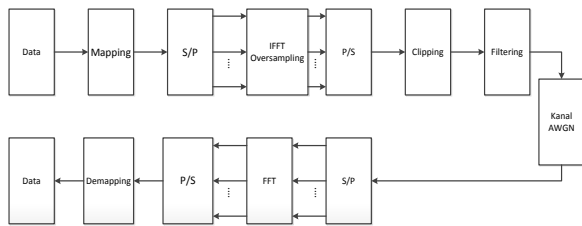
PARAMETER OFDM PADA 802.11A/G[4]

Data rate	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, dan 54 Mbps
Modulasi	QPSK, 16QAM, dan 64 QAM
Coding Rate	1,2; 2/3; dan 3/4
Jumlah subcarrier	52
Jumlah pilot	4
Durasi simbol OFDM	4us
Guard interval	800ns
Subcarrier spacing	312,5 kHz
-3dB bandwidth	16,56 MHz
Channel spacing	20 Hz

Standar *Wireless LAN* yang menggunakan OFDM sebagai teknologi lapisan fisik adalah 802.11a dan 802.11g. IEEE 802.11g menggunakan *bandwidth* yang lebih besar (54Mbps) daripada standar sebelumnya 802.11b (11Mbps). Standar 802.11a/g menggunakan modem OFDM untuk mencapai *data rate* dari 6 Mbps sampai 54 Mbps. Parameter OFDM pada 802.11a/g terdapat pada Tabel 1 [6].

V. SIMULASI

Untuk melakukan pengujian, dibuat program yang dapat mensimulasikan CCDF dan BER pada sistem OFDM dengan jenis modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Blok diagram yang digunakan sebagai acuan pembuatan program ditunjukkan pada Gbr. 2 Dan parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.



Gbr. 2 Diagram blok simulasi clipping dan filtering pada sistem OFDM yang disederhanakan

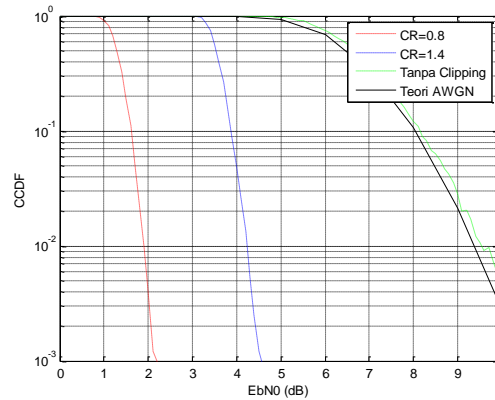
TABEL II

PARAMETER SIMULASI CLIPPING PADA SISTEM OFDM WIRELESS LAN 802.11G YANG DISEDERHANAKAN

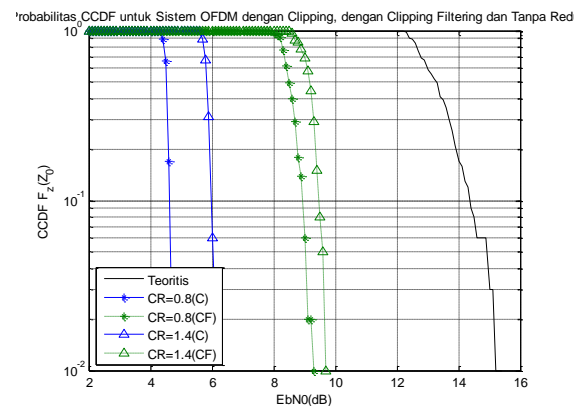
Parameter	Nilai
Jumlah Titik IFFT dan FFT	64
Jumlah Subcarrier	64
Jenis Modulasi	BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM
Jenis Kanal	AWGN
SNR	0 sampai 30 dB
Clipping Ratio	0.8 dan 1.4

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

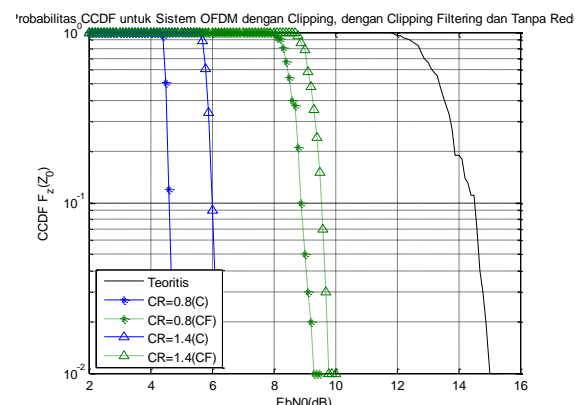
Untuk membandingkan kualitas PAPR sinyal antara sistem OFDM yang dilengkapi dan tidak dilengkapi teknik *clipping*, ditunjukkan pada Gbr. 3 dan Gbr. 4 pada hasil pengujian. Sebagai hasil, ditunjukkan 6 gambar, yang meliputi grafik CCDF dan BER untuk sistem OFDM dengan jenis modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.



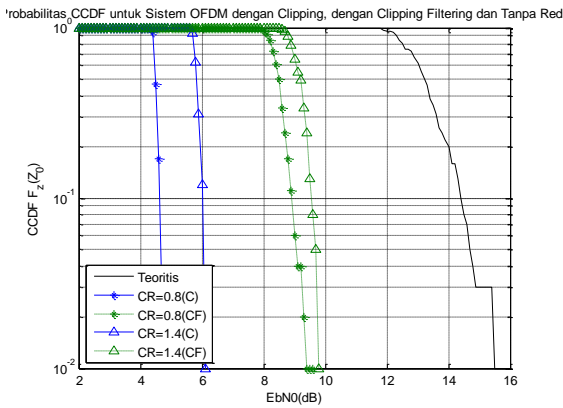
(a) Grafik CCDF untuk modulasi BPSK.



(b) Grafik CCDF untuk modulasi QPSK.



(c) Grafik CCDF untuk modulasi 16-QAM.



(d) Grafik CCDF untuk modulasi 64-QAM.  
Gbr. 3 Gambar grafik CCDF

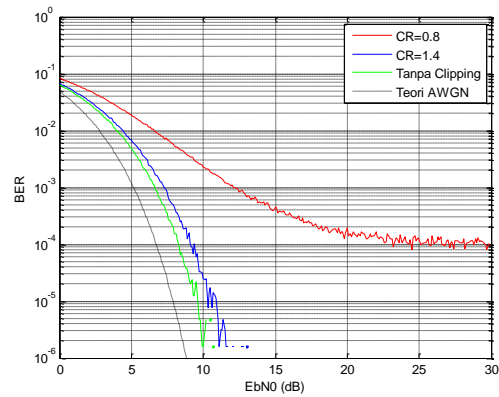
Pada Gbr. 3(a) terlihat bahwa *clipping* dengan CR=0,8 dapat menurunkan PAPR sekitar 7dB sedangkan *clipping* dengan nilai CR=1,4 dapat menurunkan PAPR sekitar 5dB. Maka dapat dinyatakan bahwa pada sistem OFDM dengan tipe modulasi BPSK semakin kecil nilai CR maka semakin besar pengurangan PAPR yang dihasilkan.

Pada Gbr. 3(b) terlihat bahwa system dengan nilai CR=1,4 dan CR=0,8 dapat menurunkan PAPR sekitar 8dB dan 10 dB terhadap system tanpa teknik reduksi untuk probabilitas  $10^{-1}$ , namun PAPR akan kembali naik apabila hasil *clipping* tersebut dikombinasikan dengan *filtering* sebesar 3,5dB dan 4,5dB namun hasil tersebut masih berada dibawah nilai PAPR pada sistem OFDM dengan modulasi QPSK yang tidak menggunakan teknik reduksi.

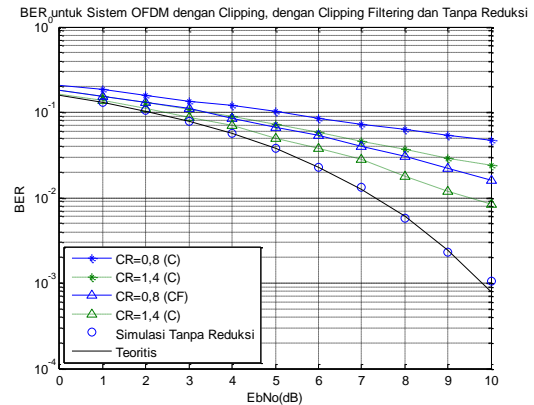
Pada Gbr. 3(c) terlihat bahwa system dengan nilai CR=1,4 dan CR=0,8 dapat menurunkan PAPR sekitar 8dB dan 10 dB terhadap system tanpa teknik reduksi untuk probabilitas  $10^{-1}$ , namun PAPR akan kembali naik apabila hasil *clipping* tersebut dikombinasikan dengan *filtering* sebesar 3,5dB dan 4,5dB namun hasil tersebut masih berada dibawah nilai PAPR pada sistem OFDM dengan modulasi 16-QAM yang tidak menggunakan teknik reduksi.

Pada Gbr. 3(d) terlihat bahwa system dengan nilai CR=1,4 dan CR=0,8 dapat menurunkan PAPR sekitar 8dB dan 10 dB terhadap system tanpa teknik reduksi untuk probabilitas  $10^{-1}$ , namun PAPR akan kembali naik apabila hasil *clipping* tersebut dikombinasikan dengan *filtering* sebesar 3,5dB dan 4,5dB namun hasil tersebut masih berada dibawah nilai PAPR pada sistem OFDM dengan modulasi 64-QAM yang tidak menggunakan teknik reduksi.

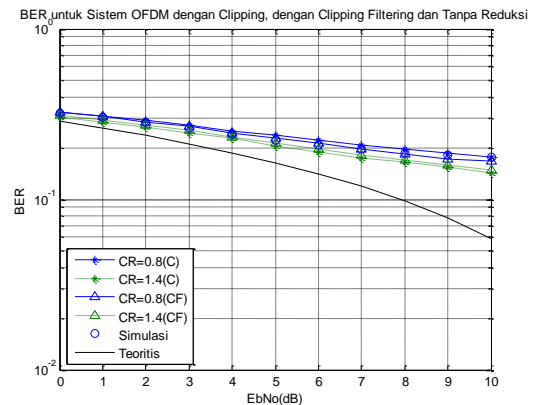
Dari keempat Gbr. 3, terlihat bahwa *filtering* dapat menurunkan kualitas CCDF yang dilengkapi dengan *clipping*, akan tetapi kualitas CCDF tersebut masih diatas sistem yang tidak direduksi.



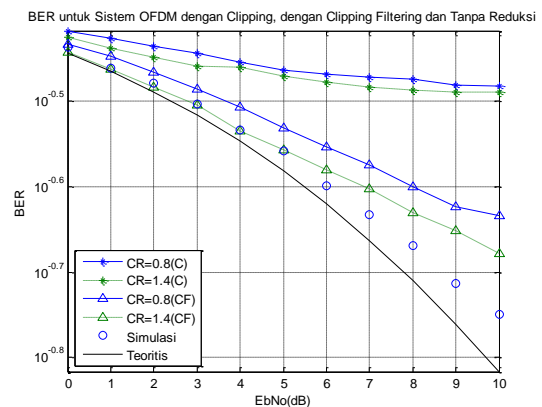
(a) Grafik BER untuk modulasi BPSK.



(b) Grafik BER untuk modulasi QPSK.



(c) Grafik BER untuk modulasi 16-QAM.



(d) Grafik BER untuk modulasi 64-QAM.  
Gbr. 4 Gambar grafik BER

Pada Gbr 4(a) terlihat bahwa pada probabilitas BER  $10^{-3}$  untuk sistem OFDM dengan nilai CR=0,8 membutuhkan PAPR sekitar 5dB lebih tinggi

dibandingkan dengan sistem OFDM dengan nilai CR=1,4. Maka dapat dinyatakan bahwa pada sistem OFDM dengan tipe modulasi BPSK, semakin kecil nilai CR maka untuk mencapai nilai probabilitas tertentu dibutuhkan PAPR yang lebih besar.

Pada Gbr. 4(b) terlihat bahwa pada QPSK reduksi PAPR dengan menggunakan teknik *clipping* dapat menurunkan kualitas BER dan bila dikombinasikan dengan teknik *filtering* dapat meningkatkan kualitas BER. Akan tetapi tetap saja menurunkan kualitas BER system bila dibandingkan dengan system tanpa dilakukan proses reduksi. Semakin besar nilai CR maka kualitas BER pada OFDM semakin turun dan sebaliknya.

Pada Gbr. 4(c) terlihat bahwa pada 16-QAM reduksi PAPR dengan menggunakan teknik *clipping* dapat menurunkan kualitas BER dan bila dikombinasikan dengan teknik *filtering* dapat meningkatkan kualitas BER. Akan tetapi tetap saja menurunkan kualitas BER system bila dibandingkan dengan system tanpa dilakukan proses reduksi. Semakin besar nilai CR maka kualitas BER pada OFDM semakin turun dan sebaliknya.

Pada Gbr. 4(d) terlihat bahwa pada 64-QAM reduksi PAPR dengan menggunakan teknik *clipping* dapat menurunkan kualitas BER dan bila dikombinasikan dengan teknik *filtering* dapat meningkatkan kualitas BER. Akan tetapi tetap saja menurunkan kualitas BER system bila dibandingkan dengan system tanpa dilakukan proses reduksi. Semakin besar nilai CR maka kualitas BER pada OFDM semakin turun dan sebaliknya.

Dari keempat Gbr. 4, terlihat bahwa untuk ketiga jenis modulasi maka *filtering* dapat meningkatkan kualitas BER pada sistem yang dilengkapi dengan *clipping* saja.

## VII. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan menggunakan teknik *clipping* dan *filtering* PAPR dapat direduksi. Pada tipe modulasi BPSK dengan nilai *clipping ratio* (CR) 1,4 dan 0,8 PAPR turun sekitar 5dB dan 7dB untuk probabilitas  $10^{-2}$  terhadap system tanpa *clipping*. Pada QPSK, 16-QAM dan 64-QAM terlihat bahwa system dengan nilai *clipping ratio* 1,4 dan 0,8 dapat menurunkan PAPR sekitar 8dB dan 10dB terhadap system tanpa reduksi untuk probabilitas  $10^{-1}$ , namun PAPR akan kembali naik apabila hasil *clipping* tersebut dikombinasikan dengan *filtering*. Nilai naik sebesar 3,5dB dan 4,5dB namun hasil tersebut masih berada dibawah nilai PAPR yang tidak menggunakan teknik reduksi. Maka semakin kecil nilai CR, kualitas CCDF pada OFDM semakin bagus. Pada BER terlihat bahwa untuk ketiga jenis modulasi maka *filtering* dapat meningkatkan kualitas BER pada sistem yang dilengkapi dengan *clipping* saja.

## REFERENSI

- [1] Harada, Hiroshi, Ramjee Prasad. 2002. *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*. London: Artech House.
- [2] Astuti, Yenni. 2007. *PAPR Pada OFDM dengan Modulasi QAM*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro UGM. Yogyakarta.
- [3] C.G. Kang, J.Kim, Y.S. Cho, and W.Y. Yang (2010). *MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB*. Clementi Loop: Wiley.
- [4] Aribowo, Prasetyo. 2010. *Simulasi OFDM pada WLAN 802.11g*, Skripsi Jurusan Teknik Elektro UGM. Yogyakarta.
- [5] Y. Li, G. Stuber (2006). *Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communication*. New York: Springer.
- [6] Juwono, Filbert H. Dadang Gunawan (2009). *PAPR Reduction Using Huffman Coding Combined with Clipping and Filtering for OFDM Transmitter*. Malaysia.