

KOMBINASI *INTERLEAVING* DAN *PEAK WINDOWING* UNTUK REDUKSI PEAK TO AVERAGE POWER RATIO PADA OFDM

Azhar Harris¹, Rina Puji Astuti², Budi Prasetya³

¹²³Fakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom, Bandung

azharriez@yahoo.co.id, rpa@ittelkom.ac.id, bpy@ittelkom.ac.id

Abstraksi

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah sebuah teknik modulasi yang menggunakan sejumlah besar *carrier* yang saling *orthogonal*. Konsep OFDM adalah memecah data serial dengan kecepatan tinggi menjadi data paralel dengan kecepatan yang lebih rendah, kemudian data-data paralel tersebut dibawa oleh *subcarrier* yang saling *orthogonal*.

Kelemahan OFDM salah satunya adalah memiliki perbandingan daya puncak terhadap daya rata-rata (PAPR) yang tinggi, sehingga menyebabkan efisiensi penguat daya besar (HPA) berkurang, kerusakan *in band*, dan radiasi *out band* ketika sinyal melewati HPA.

Metode penurunan PAPR dapat menggunakan *interleaving* dan *peak windowing* secara bersamaan. *Interleaver* yang juga berfungsi sebagai pengacak bit untuk mengatasi *burst error* mampu menurunkan PAPR dengan cara memakai banyak *interleaver* di sisi pengirim. Keluaran setiap *interleaver* memiliki urutan bit yang berbeda dan akan menghasilkan PAPR yang berbeda setelah proses IFFT. Urutan dengan PAPR terendah dipilih untuk dilanjutkan ke blok berikutnya. *Peak windowing* merupakan modifikasi dari teknik *clipping*. Oleh *peak windowing*, amplituda puncak dari setiap simbol yang melewati *threshold* dibentuk sesuai jenis *window* yang digunakan. Dengan cara ini, PAPR dapat direduksi dan kurva linieritas HPA makin mendekati ideal.

Pada tugas akhir ini akan dianalisa kinerja metode *interleaving* dan *peak windowing* untuk jenis modulasi dan *subcarrier* yang berbeda dan performansi sistem OFDM 512 *subcarrier*. *Interleaving* mampu menurunkan PAPR antara 2.3 dB sampai 2.5 dB untuk lima buah *interleaver*. Sedangkan *peak windowing* menurunkan PAPR sebesar 1 dB. Jika keduanya digabungkan maka penurunan PAPR menjadi antara 2.8 dB sampai 3.1 dB. Nilai *input back off* mengalami kenaikan antara 0.0325 dB sampai 0.4206 dB dan *output back off* naik antara 0.0247 dB sampai 0.4127 dB. Pada BER target 10^{-4} , menurunkan SNR sampai 1.175 dB untuk QPSK dan sampai 3.513 dB untuk 16 QAM.

Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a modulation technique which utilize a large amount of carrier that orthogonal each other. The OFDM concept is breaking serial data high-speed into parallel data with lower speed afterwards, parallel data is carried by sub carrier which orthogonal each other.

The weakness of OFDM that it has high peak to average power ratio that cause decreasing of HPA efficiency, in band distortion, and out band radiation when the signal through HPA.

Interleaving and peak windowing methode is proposed to reduce the high PAPR. Interleaving which also is used to overcome burst error, can reduce PAPR by using numbers of interleaver in transmitter. Each interleaver output has different bit sequence which will produce different PAPR value after IFFT process. A sequence with the lowest PAPR is selected to through for the next block. *Peak windowing* builds on the idea of basic clipping. This is accomplished by multiplying the signal in the region of the peak with a windowing function. By combining these methodes, signal peak power will decrease and PAPR is reduced.

This final project analyzes *interleaving* and *peak windowing* technique different modulation and subcarrier. Furthermore, it determines performance of OFDM system with 512 *subcarrier* in *Rayleigh* channel. Simulation result shows *interleaving* is able to reduce PAPR between 2.3 dB – 2.5 dB and 1 dB by using *peak windowing* alone. When *interleaving* and *peak windowing* are used at one time, PAPR can be reduced between 2.8 dB until 3.1 dB, increase *input back off* 0.0325 dB up to 0.4206 dB, else, increase *Output Back Off* between 0.0247 dB until 0.4127 dB. For BER target 10^{-4} , this methode decreases SNR up to 1.175 dB for QPSK and 3.513 dB for 16QAM.

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi generasi keempat (4G) dibutuhkan sistem transmisi untuk *bit rate* yang tinggi. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan salah satu teknik yang mampu menangani transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi dan memiliki ketahanan pada lingkungan yang mengalami fenomena *multipath* yang menyebabkan *intersymbol interference* (ISI).

Kelemahan dari OFDM adalah adanya perbandingan daya puncak terhadap daya rata-rata (PAPR) yang tinggi yang berasal dari superposisi banyak *subcarrier* dengan karakteristik fasa tertentu pada OFDM. Pada pengiriman, sinyal OFDM dengan PAPR yang tinggi akan mengalami proses *clipping* dan/atau *soft thresholding* di penguat daya besar (HPA) sehingga output HPA tidak linier. Hal ini menyebabkan *inter carrier interference* (ICI) dan radiasi *Out of Band* (OoB). Ketika ICI mengganggu sinyal yang ditransmisikan dan menurunkan BER, radiasi OoB mengganggu sinyal pada pita frekuensi terdekat. Selain itu, pemakaian daya oleh HPA sangat bergantung pada daya besar atau puncak dari daya rata-rata, sehingga penanganan PAPR ini membuat efisiensi daya rendah. Oleh karena itu, sinyal yang masuk ke HPA haruslah tidak memiliki PAPR yang tinggi.

Pada tugas akhir ini, digunakan metode reduksi PAPR yaitu kombinasi *interleaving* dan *peak windowing* menggunakan penguat daya non-linier. Dengan banyak *interleaver* maka keluaran IFFT akan bervariasi dengan jumlah variasi sebanyak jumlah *interleaver* untuk kemudian dipilih sinyal dengan PAPR terendah. *Peak windowing* digunakan untuk membatasi amplituda yang dianggap masih terlalu tinggi untuk memasuki HPA. Pada tugas akhir ini akan dianalisa unjuk kerja kombinasi metode *interleaving* dan *peak windowing* dalam sistem OFDM untuk jenis modulasi dan jumlah *subcarrier* yang berbeda.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Dasar OFDM

OFDM adalah teknik transmisi *multi carrier* yang membagi spektrum yang tersedia menjadi banyak *subcarrier*, dan masing-masing dimodulasi dengan bit kecepatan rendah. OFDM menyerupai teknik *multi carrier* konvensional,

tetapi OFDM menggunakan spektrum lebih efisien dengan memisahkan kanal lebih berdekatan / *overlapping*. Ini dilakukan dengan membuat semua carrier saling orthogonal satu sama lain.

2.2 Peak to Average Power Ratio pada OFDM

PAPR merupakan perbandingan daya puncak dengan daya rata-rata sinyal. PAPR sinyal hasil dari mapping PSK *base band* sebesar nol dB, karena semua simbol mempunyai daya yang sama. Tetapi setelah dilakukan IFFT, daya sinyal akan bervariasi, sehingga PAPR akan semakin besar. Variasi daya (*dynamic range*) tersebut disebabkan oleh modulasi masing-masing *subcarrier*, dengan frekuensi yang berbeda, sehingga apabila beberapa *subcarrier* mempunyai fasa yang koheren akan muncul amplituda dengan level yang jauh lebih besar dari daya rata-rata sinyal.

Simbol OFDM dengan N *subcarrier* merupakan sinyal *baseband* kompleks yang dapat dinyatakan dengan:

$$= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t}$$

Secara matematis, PAPR dari blok sampel digital OFDM didefinisikan sebagai[6]:

$$PAPR = \frac{\max_k |x_k|^2}{\frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |x_k|^2}$$

Dengan

$$x_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi f_k n}$$

PAPR yang besar akan mengurangi efisiensi penguat daya RF. Peluang munculnya PAPR dalam seluruh sinyal OFDM atau *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) lebih dari $PAPR_0$, didekati dengan rumus[6],

$$P(PAPR > PAPR_0) = 1 - (1 - \frac{PAPR_0}{N})^N$$

2.3 High Power Amplifier

Pada sistem komunikasi *wireless* kondisi kanal yang menyebabkan *pathloss* merupakan suatu permasalahan yang tak bisa dihindari. Amplifier berfungsi untuk menguatkan sinyal sebelum ditransmisikan, sehingga penerima dapat

menangkap sinyal dengan baik. Hal ini disebabkan setiap penerima memiliki batas sensitivitas sinyal terima, serta pengaruh temperatur noise dari perangkat yang akan mempengaruhi nilai SNR yang merupakan salah satu parameter yang menentukan kualitas sinyal.

Beberapa parameter penting dalam amplifier adalah *dynamic range (saturation point)*, *bandwidth*, efisiensi, penguatan (*gain*), dan linearitas. Sinyal OFDM dengan PAPR yang tinggi akan menyebabkan amplifier bekerja pada kondisi saturasi, efisiensi rendah, dan terjadi distorsi. Akibatnya sistem akan terbebani konsumsi daya yang tinggi, terjadinya *in band distortion*, dan *out band distortion*.

Model yang digunakan dalam Tugas akhir ini adalah Rapp's solid state power amplifier model (SSPA) dengan karakteristik input-output sebagai berikut[2]

$$= \frac{1}{(1 + (\frac{V_{in}}{V_{sat}})^{2p})^{-1}}$$

Dimana:

V_{in} :Tegangan sinyal masuk kompleks

V_{out} : Tegangan sinyal keluar kompleks

V_{sat} :Berhubungan tingkat saturasi HPA

Parameter p disebut '*knee-factor*' adalah parameter mengatur tingkat kehalusan karakteristik keluaran HPA.

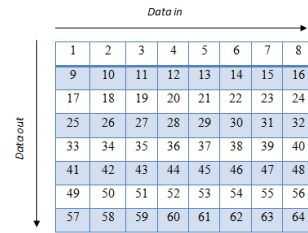
2.4 Interleaving

Kondisi kanal dapat mengakibatkan sinyal yang dikirimkan mengalami *error* berurutan atau *burst error*. Cara yang efektif untuk mengatasi *burst error* adalah dengan melakukan *interleaving* data terkode dengan pola tertentu sehingga kanal *bursty* diubah ke kanal yang memiliki *error* yang saling bebas.

Pemakaian *interleaver* sebelum transmisi dan *deinterleaver* setelah penerimaan akan menyebabkan pola *burst error* akan disebar dalam waktu dan akan ditangani oleh *decoder* sebagai pola *error* yang *random*. Ada dua tipe *interleaver* yang digunakan dalam OFDM yaitu *block interleaver* dan *convolutional interleaver*. Pada simulasi ini digunakan lima buah *block interleaver* dengan ukuran *matrix* yang berbeda.

Blok *interleaver* menerima kode-kode simbol dalam blok-blok dari *encoder*, mengurutkan simbol-simbol dan mengisikan simbol tersusun tersebut ke modulator. Pengurutan yang biasa dilakukan dari blok adalah

dengan mengisi kolom-kolom secara baris dan mengeluarkan secara kolom dari susunan M baris dan N kolom[3].



Gambar 2.1 Blok *interleaver*

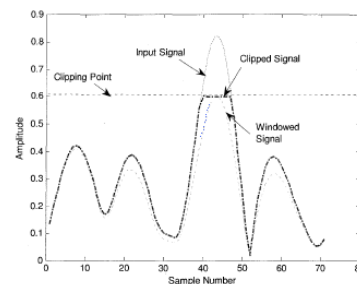
Jika data yang masuk blok interleaver adalah: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 ..., maka data keluaran interleaver menjadi : 1 9 17 25 33 41 49 57 2 10 18 26 34 42 50 58...

Penggunaan multi *interleaver* dengan matriks yang berbeda menyebabkan urutan data yang berbeda, sehingga keluaran modulator dan IFFT pun berbeda satu sama lainnya. Masing-masing simbol keluaran IFFT mempunyai nilai PAPR yang berbeda untuk kemudian dipilih nilai PAPR yang paling kecil sebagai *input* blok berikutnya.

2.5 Peak Windowing

Cara yang paling sederhana untuk mengatasi PAPR adalah dengan menggunakan teknik *clipping*. *Peak windowing* merupakan pengembangan dari teknik *clipping* yang memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

1. Distorsi amplituda *magnitude* sinyal OFDM sehingga, terjadi *self-interference* yang menyebabkan degradasi BER
2. Distorsi *non-linear* meningkatkan radiasi *out of band* secara signifikan.



Gambar 2.2 Ilustrasi *peak windowing*

Ide dasar *peak windowing* adalah pembentukan kembali puncak yang mengalami

proses *clipping* dengan cara mengalikan selubung sinyal OFDM dengan sebuah koefisien window *window*. Oleh karena itu,

dimana,

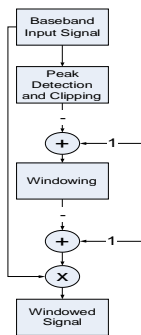
$c(n)$ = Koefisien *clipping* dengan nilai sebagai berikut

Dengan A adalah level *clipping*. Metode windowing akan menggantikan koefisien $c(n)$ dengan koefisien $b(n)$ dimana

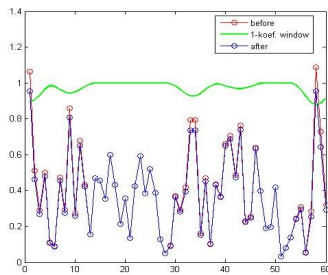
$\omega(n)$: fungsi *window*

k :menunjukkan posisi puncak yang terpotong

a_k : konstanta redaman



Gambar 2.3 Algoritma *peak windowing*



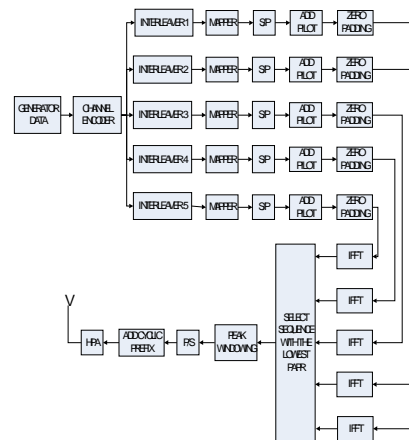
Gambar 2.4 Proses *peak windowing*

Koefisien window yang dapat digunakan adalah *non-rectangular window* seperti *Gaus*, *Kaiser*, *Hamming* dan *Hanning*. Pada tugas akhir ini

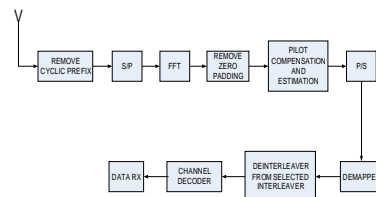
digunakan jenis *Hanning* karena memiliki spektrum yang lebih tepat untuk mengurangi radiasi *out of band*. Persamaan window *Hanning* adalah sebagai berikut:

3. Model Sistem

Model pemancar OFDM dengan *Interleaving* dan *peak windowing* diperlihatkan pada gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1 Pemancar OFDM dengan *interleaving* dan *peak windowing*



Gambar 3.2 Penerima OFDM

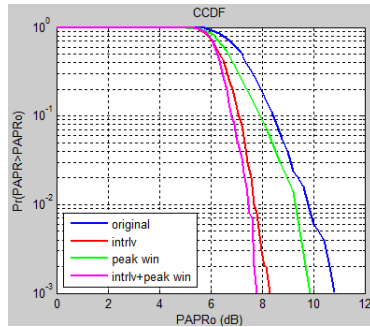
Pada sisi pemancar digunakan lima buah blok *interleaver* sebelum IFFT dan algoritma *peak windowing* setelah IFFT. Sebelum masuk proses *interleaving* data diduplikat sebanyak lima buah kemudian masing-masing data masuk ke *interleaver*. Setelah keluar proses IFFT, PAPR dihitung. Sinyal OFDM dengan PAPR terendah dipilih untuk dilakukan proses *peak windowing*.

Di sisi penerima menggunakan lima buah *deinterleaver*. Penerima membutuhkan suatu adaptasi untuk memilih blok *deinterleaver*. Pada simulasi ini diasumsikan penerima dapat

mengetahui blok *deinterleaver* mana yang dipilih.

4. Analisa Hasil Simulasi

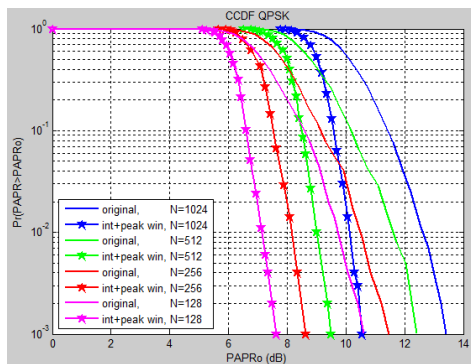
4.1 Pengaruh *interleaving* dan *peak windowing* terhadap PAPR



Gambar 4.1 Penurunan PAPR oleh *interleaving* dan *peak windowing* yang dilakukan secara terpisah

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa penggunaan lima buah interleaver mampu menurunkan PAPR sebesar 2.5 dB pada OFDM 256 *subcarrier* modulasi 16QAM. Besarnya penurunan PAPR untuk berbagai jenis modulasi dan *subcarrier* adalah 2.2 sampai 2.5 dB. Sedangkan *peak windowing* berhasil menurunkan PAPR sekitar 1 dB.

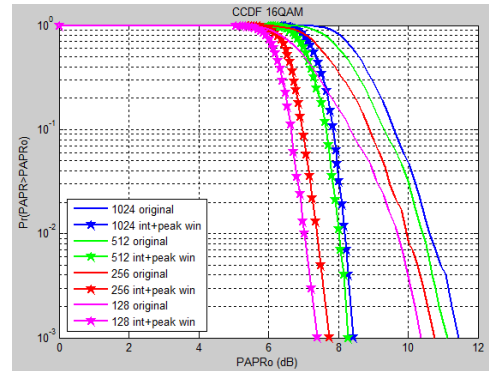
4.2 Kinerja *interleaving* dan *peak windowing* pada modulasi QPSK



Gambar 4.2 PAPR sebelum dan sesudah *interleaving* dan *peak windowing* modulasi QPSK

Berdasarkan gambar 4.2 PAPR pada modulasi QPSK mengalami penurunan 2.822 dB sampai 3.009 dB. Penurunan PAPR memberikan hasil yang cenderung sama untuk semua *subcarrier*.

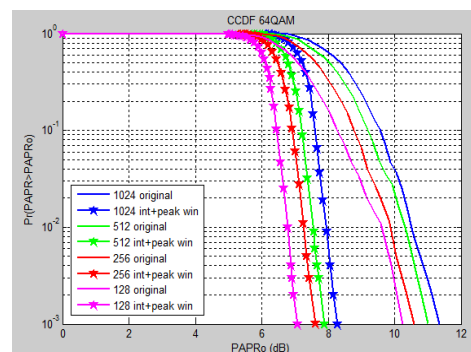
4.3 Kinerja *interleaving* dan *peak windowing* pada modulasi 16QAM



Gambar 4.3 PAPR sebelum dan sesudah *interleaving* dan *peak windowing*

Berdasarkan gambar 4.3 PAPR pada modulasi 16QAM mengalami penurunan 2.832 dB sampai 3.014 dB. Penurunan PAPR memberikan hasil yang sama untuk semua *subcarrier* pada modulasi 16QAM

4.4 Kinerja *interleaving* dan *peak windowing* pada modulasi 64QAM



Gambar 4.4 PAPR sebelum dan sesudah *interleaving* dan *peak windowing* modulasi 64QAM

Berdasarkan gambar 4.4 PAPR pada modulasi 64 QAM mengalami penurunan antara 2.975 dB sampai 3.177 dB. Penurunan PAPR cenderung sama untuk semua *subcarrier*.

Berdasarkan gambar 4.3, 4.3 dan 4.4 dapat dikatakan bahwa jumlah *subcarrier* dan jenis modulasi tidak berpengaruh terhadap penurunan PAPR dengan metode *interleaving* dan *peak windowing*. Jika dibandingkan dengan gambar 4.1, PAPR dengan metode *interleaving* dapat memberikan penurunan antara 3.3 dB

sampai 3.5 dB (dengan menjumlahkan penurunan oleh *interleaving* dan *peak windowing* secara terpisah). Namun jika kedua metode tersebut digunakan secara bersamaan, penurunan PAPR oleh *peak windowing* menjadi lebih kecil karena sinyal yang mengalami proses *peak windowing* sudah memiliki PAPR yang rendah.

4.5 Pengukuran nilai *input back off* dan *output back off*

IBO didefinisikan sebagai perbandingan daya saturasi *input* HPA dengan daya rata-rata *input* HPA. Sedangkan OBO didefinisikan sebagai perbandingan daya saturasi *output* HPA dengan daya *output* rata-rata. Amplituda saturasi yang digunakan adalah 4 dB diatas amplituda rata-rata sinyal keluaran HPA. Penggunaan *peak windowing* akan mempengaruhi nilai IBO dan OBO pada HPA, seperti pada tabel berikut.

Pada sistem ini, nilai rata-rata *input* dan *output* HPA lebih kecil setelah melalui metode *interleaving* dan *peak windowing* sehingga terjadi kenaikan nilai IBO dan OBO. Kenaikan nilai IBO dan OBO dilakukan dengan 100 kali pengambilan data kemudian dirata-ratakan.

Tabel 4.1 Data kenaikan IBO dan OBO modulasi QPSK

No	Subcarrier	kenaikan IBO (dB)	kenaikan OBO (dB)
1	128	0.2714	0.2629
2	256	0.2116	0.2081
3	512	0.1409	0.1311
4	1024	0.0325	0.0247

Berdasarkan tabel 4.1 kenaikan IBO dan OBO lebih besar untuk jumlah *subcarrier* yang besar. Hal ini dikarenakan pada proses *peak windowing* merupakan proses perkalian amplituda yang melewati *threshold* dengan suatu fungsi window. Amplituda yang lebih tinggi menghasilkan pengurangan amplituda yang lebih tinggi pula, oleh karena itu kenaikan nilai IBO dan OBO *subcarrier* 1024 lebih kecil dengan selisih yang tipis.

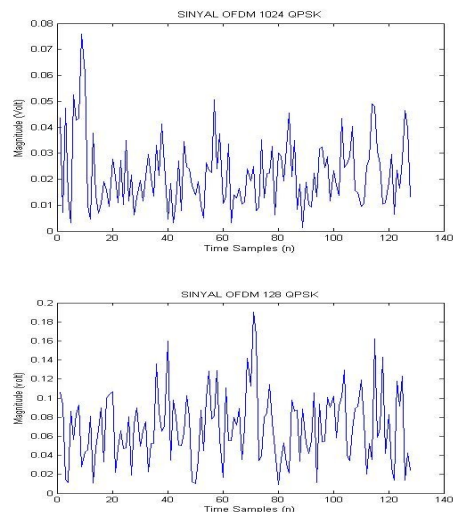
Tabel 4.2 Data kenaikan IBO dan OBO modulasi 16QAM

No	Subcarrier	kenaikan IBO (dB)	kenaikan OBO (dB)
1	128	0.3542	0.3476
2	256	0.2591	0.2504
3	512	0.1688	0.1591
4	1024	0.0813	0.0752

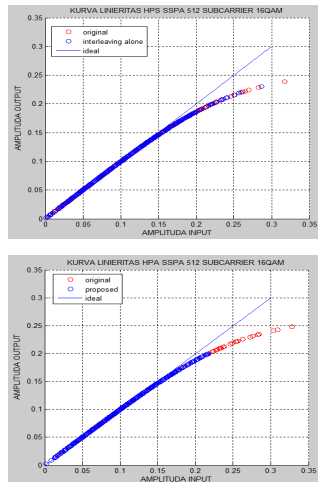
Tabel 4.3 Data kenaikan IBO dan OBO modulasi 64QAM

No	Subcarrier	kenaikan IBO (dB)	kenaikan OBO (dB)
1	128	0.4206	0.4127
2	256	0.3193	0.3104
3	512	0.2165	0.2072
4	1024	0.1146	0.1067

Berdasarkan tabel 4.2 dan 4.3, kenaikan IBO dan OBO modulasi 16QAM dan 64QAM sifatnya sama dengan modulasi QPSK. Kenaikan pada modulasi 64QAM paling besar diantara modulasi lainnya, hal ini karena sinyal OFDM modulasi 64QAM memiliki amplituda rata-rata tertinggi dibandingkan modulasi QPSK dan 16QAM untuk jumlah *subcarrier* yang sama.



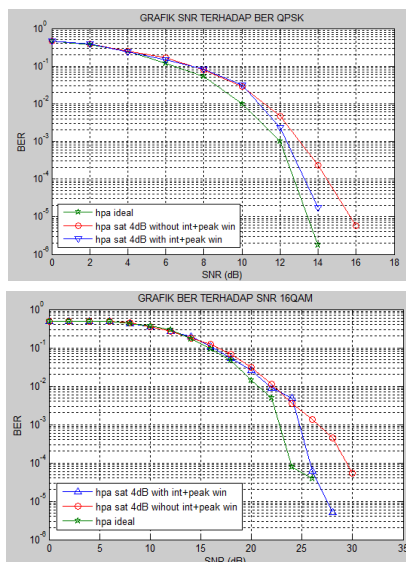
Gambar 4.5 Perbandingan amplituda 128 QPSK dengan 1024 QPSK



Gambar 4.6 Kurva linieritas HPA (atas) *interleaving* (bawah) *interleaving* dan *peak windowin*

Berdasarkan gambar 4.6 terlihat dengan *interleaving* dan *peak windowing* linieritas makin mendekati ideal.

4.6 Analisa Performansi OFDM 512 subcarrier dengan *interleaving* dan *peak windowing*



Gambar 4.7 Performansi sistem OFDM 512 denga *interleaving* dan *peak windowing* (atas) QPSK (bawah) 16QAM

Terlihat bahwa penggunaan HPA dengan amplituda saturasi sebesar 4 dB diatas amplituda rata-rata menyebabkan naiknya SNR sebesar 1.736 dB untuk QPSK. Dengan *interleaving* dan *peak windowing* memberikan penurunan SNR

sampai 1.175 dB dari grafik HPA tidak ideal tanpa reduksi PAPR. Sedangkan pada 16QAM menyebabkan naiknya SNR sebesar 5.534 dB. Dengan *interleaving* dan *peak windowing* memberikan penurunan SNR sebesar 3.513 dB dari grafik HPA tidak ideal tanpa reduksi PAPR.

Kenaikan SNR pada modulasi 16QAM lebih besar daripada QPSK karena pada modulasi 16QAM, setiap simbol dikodekan berdasarkan amplituda atau fasa yang berbeda sedangkan QPSK hanya fasa saja. HPA yang tidak linier menyebabkan kerusakan amplituda simbol OFDM. Selain itu pada 16QAM setiap simbol dikodekan dalam 4 bit sedangkan QPSK dalam 2 bit. Oleh karena itu, efek dari HPA yang tidak linier lebih besar pada 16QAM daripada QPSK.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa, dapat disimpulkan:

1. *Interleaving* mampu menurunkan PAPR antara 2.3 dB sampai 2.5 dB
2. *Peak Windowing* mampu menurunkan PAPR sebesar 1 dB
3. Penggunaan *interleaving* dan *peak windowing* secara bersamaan menyebabkan *peak windowing* tidak memberikan penurunan PAPR yang optimal karena sinyal masukan *peak windowing* sudah mengalami penurunan PAPR
4. Jumlah *subcarrier* dan jenis modulasi tidak mempengaruhi besarnya penurunan PAPR oleh metode *interleaving* dan *peak windowing*
5. *Interleaving* dan *peak windowing* menaikkan nilai IBO antara 0.0325 dB sampai 0.4206 dB dan menaikkan OBO antara 0.0247 dB sampai 0.4127 dB
6. *Interleaving* dan *peak windowing* memberikan kurva karakteristik HPA dengan linieritas yang lebih baik daripada *interleaving* saja
7. Kombinasi *interleaving* dan *peak windowing* mampu menurunkan SNR sampai 3.513 dB pada modulasi 16QAM dan pada QPSK sampai 1.175 dB untuk BER target 10^{-4} pada kanal *Rayleigh*.

5.2 Saran

1. Menggunakan algoritma perulangan sehingga tidak diperlukan perangkat sejumlah *interleaver*
2. Menganalisa perubahan nilai *back off* terhadap performansi BER.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Freeman, Roger L. 2007. *Radio System Design for Telecommunications*. New York: The Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- [2]. Hara, Shinsuke dan Prasad Ramjee. 2003. *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications*. Boston: Artec House.
- [3]. H. Y. Sakran, M. Shokair, and A. A. Elazm. 2008. *An Efficient Technique for Reducing PAPR of OFDM System in the Presence of Nonlinear High Power Amplifier*. Mesir: El-Menoufia University.
- [4]. Iwao Sasase, Masaki Shibahara, Takahibo Saba, and Takeo Fuji. *Performance Evaluation of Frequency Spread Coding and Frequency Interleaving for OFDM Systems Using Adaptive Co-Channel Interference Canceller*.
- [5]. Jarot, Sigit Puspito Wigati. 1999. *Mengenal Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*. Elektro Indonesia No. 24, Tahun V. Japan: Keio University.
- [6]. Mistry, Hiten N. 2006. *Implementation of a Peak Windowing Algorithm for Crest Factor Reduction in WCDMA*. Simon Fraser University.
- [7]. O'Hara Sean T. and James R. Periard. 2004. *Orthogonal Coded Selective Mapping (OCSM) for Peak to Average Power Reduction Without Side Information*. New York: Syracuse Research Corporation.
- [8]. P. Foomooljareon and W.A.C. Fernando. 2002. *PAPR Reduction in OFDM Systems*. Thailand: Asian Institute of Technology.
- [9]. Roca, Amalia. 2007. *Implementation of a WiMAX simulator in Simulink*. Vienna: Universität Wien.
- [10]. Suhendar, Agus. 2008. *Analisis Teknik Peak to Average Power Reduction pada OFDM menggunakan Active Constellation Extension untuk Sistem WiMAX*. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [11]. Wireless Information Transmission System Lab. *Novel Low-Complexity SLM Schemes for PAPR Reduction in OFDM System*. China: National Sun Yat Sen University.
- [12]. Yucek, Tevfik. 2003. *Self-Interference Handling in OFDM Based Wireless Communication Systems*. Florida: University of South Florida.