

**ANALISA REDUKSI PAPR PADA OFDM DENGAN 64 QAM MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI WAVELET
UNIVERSITAS TELKOM
PAPR REDUCTION ANALYSIS OF OFDM 64 QAM USING WAVELET TRANSFORM
TELKOM UNIVERSITY**

Avirian Candra Emanuel¹, Dharu Arseno, S.T., M.T.², Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹cavirian@gmail.com, ²darseno@telkomuniversity.ac.id, ³ukeusman@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Pada penerapannya OFDM sering digunakan untuk sistem transmisi nirkabel, karena ketahanannya terhadap multipath fading. Namun permasalahan yang timbul pada implementasi OFDM adalah nilai peak-to average power ratio (PAPR) yang terlalu tinggi. Hal ini berdampak pada sub-carrier menjadi tidak ortogonal yang merupakan efek dari distorsi non-linier pada bentuk gelombang yang menyebabkan inter-block interference (IBI), sehingga dibutuhkan guard time yang berdurasi lebih panjang dibandingkan response impulse akibatnya efisiensi spektrum serta performansi sistem berkurang.

Transformasi wavelet merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk melakukan reduksi pada peak-to average power ratio (PAPR). Tujuannya seperti proses filtering yaitu untuk memisahkan komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah, hal ini diharapkan dapat mereduksi PAPR. Untuk jenis wavelet yang dipergunakan adalah keluarga biorthogonal dan orthogonal wavelet..

Dari penelitian ini didapatkan reduksi PAPR terbaik didapatkan dari wavelet reversebior yaitu rbior5.5 yaitu sebesar 1.017 dB dengan nilai BER 0.00579. Untuk keluarga bior splines reduksi PAPR terbaik didapatkan dari bior3.5 yaitu sebesar 1 dB dengan nilai BER 0.07685. Keluarga daubechies melakukan reduksi PAPR sebesar 0.723 dB dengan nilai BER 0.004813.

Kata kunci : OFDM, Transformasi Wavelet, PAPR, QAM

Abstract

This application is often used for wireless transmission system, because of its resistance to multipath fading. However, the problem that came out in OFDM implementation is the PAPR (Peak-to Average Power Ratio) that is too high. This affects the non-orthogonal subcarrier which is the effect of non-linear distortion on the waveform causing inter-block interference or IBI, so that it takes longer guard time than the impulse response, and it will decrease the spectrum efficiency and the system performance.

The wavelet transform is one of the techniques used to perform PAPR reduction. The purpose of such filtering process is to separate high frequency components and low frequency, which is expected to reduce PAPR. The type of wavelet used in this research is the family of the biorthogonal and the orthogonal wavelet.

The result of this project, the best reduction technique of PAPR obtained wavelet reversebior is rbior5.5 that is equal to 1.017 dB with BER 0.00579. For the bior splines family the best PAPR reduction is obtained from bior3.5 which is 1 dB with BER value 0.07685. Then the daubechies wavelet family did a PAPR reduction of 0.723 dB with BER value of 0.0048

Keywords: OFDM, Wavelet Transform, PAPR, QAM

1. Pendahuluan [10 pts/Bold]

Konsep OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) adalah skema konsep *frequency-division modulation* (FDM) yang biasa digunakan untuk metode modulasi *multicarrier* digital. Namun permasalahan yang timbul pada implementasi OFDM adalah nilai *peak-to average power ratio* (PAPR) yang terlalu tinggi. Hal ini berdampak pada sub-carrier menjadi tidak ortogonal yang merupakan efek dari distorsi non-linier pada bentuk gelombang yang menyebabkan *inter-block interference* (IBI), sehingga dibutuhkan *guard time* yang berdurasi lebih panjang dibandingkan *response impulse* akibatnya efisiensi spektrum serta performansi sistem berkurang. Transformasi wavelet merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk melakukan reduksi pada PAPR. Tujuannya seperti proses filtering yaitu memisahkan komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah,

hal ini diharapkan dapat mereduksi PAPR. Jenis wavelet yang digunakan adalah keluarga wavelet *biorthogonal* dan *orthogonal*.

Sistem OFDM dengan menggunakan transformasi wavelet disebut juga Wavelet-OFDM (W-OFDM). Untuk wavelet biorthogonal akan digunakan anggota keluarga wavelet *reversbior(rbio)* dan *biorplines(bior)*, sedangkan untuk wavelet ortogonal akan digunakan keluarga wavelet *daubechies(db)*.

Latar Belakang

LTE merupakan standar komunikasi nirkabel yang masih terus dikembangkan. kebutuhan akan *bandwidth* dan kecepatan laju data menjadi penyebab utama teknologi ini terus dikembangkan. OFDM merupakan salah satu standar sistem *downlink* yang digunakan pada arsitektur jaringan ini.

Penggunaan 64 QAM sebagai modulasi yang digunakan pada penelitian ini didasari oleh pertimbangan bahwa secara praktis penggunaan modulasi ini masih cukup populer terutama di Indonesia, dengan harapan dengan desain dan karakteristik yang tidak terlalu berbeda dengan 256 QAM percobaan ini dapat menjadi landasan untuk perkembangan dimasa mendatang.

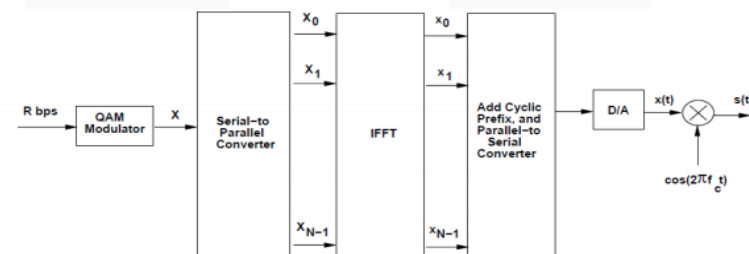
Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat simulasi sistem dan melakukan analisa terhadap reduksi PAPR dengan menggunakan wavelet transform pada sistem OFDM. Serta mengamati kemungkinan dapat digunakannya sistem W-OFDM untuk jaringan praktis dengan menggunakan parameter BER.

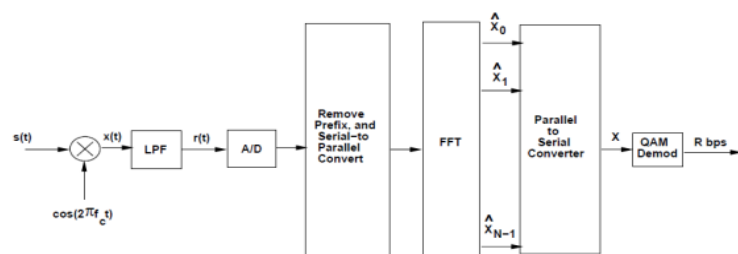
2. Dasar Teori

2.1 Teknik OFDM

Bagian Pada skema OFDM proses pembangkitan sinyal dilakukan dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)* sebagai modulator dan *Fast Fourier Transform (FFT)* sebagai demodulator dengan tujuan untuk menghindari banyaknya osilator dan modulator pada pemancar serta demodulator dan filter pada penerima sehingga kompleksitas sistem secara keseluruhan dapat dikurangi[6].



a) Transmitter



b) Reciever

Gambar 2.1 Blok (a)Transmitter dan (b)Reciever Sistem OFDM[6].

Untuk membangkitkan *baseband* symbol OFDM, urutan data serial pertama kemudian dikonversi menjadi urutan data paralel dengan menggunakan *serial-to-parallel converter* sebelum modulasi *sub-carrier*. Setelah itu

setiap keluaran dari *serial-to-parallel* masing-masing dimodulasi dengan frekuensi *subcarrier* yang saling orthogonal dengan *sampling rate* N/T , dimana N adalah jumlah *subcarrier* dan T adalah durasi simbol OFDM untuk kemudian dilakukan proses *multiplexing* sehingga menghasilkan sinyal OFDM seperti pada Gambar 2.1 Blok (a)[6].

2.2 Modulasi OFDM

Transmitter OFDM memetakan bit informasi menjadi sekuen simbol *Phase Shift Keying* (PSK) atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) yang akan dikonversi secara subsekuensial ke aliran N_c paralel[7]. Dalam notasi baseband kompleks, sinyal OFDM $x(t)$ selama waktu interval $mT_u \leq t \leq (m+1)T_u$ dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} x_k(t) = \sum_{k=0}^{N_c-1} a_k^{(m)} e^{j2\pi k \Delta f t}$$

Dimana $x_k(t)$ *subcarrier* ke- k yang termodulasi dengan frekuensi $f_k = k \cdot \Delta f$ dan $a_k^{(m)}$ adalah simbol modulasi yang diterapkan pada *subcarrier* ke- k selama interval simbol OFDM ke- m , yakni pada interval waktu $mT_u \leq t \leq (m+1)T_u$. Sedangkan N_c adalah jumlah *subcarrier* yang mempunyai frekuensi *carrier* $f_0, f_1 \dots f_{N_c-1}$ [8].

2.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan skema modulasi yang menggabungkan Amplitude Shift Keying (ASK) dan Phase Shift Keying (PSK). QAM mengubah sinyal *carrier* menjadi dua sinyal *carrier* dengan frekuensi yang sama, namun berbeda fasa 90°. Salah satu sinyal disebut I signal, dan sinyal yang lainnya disebut Q signal. Secara matematis, sinyal *carrier* ini dapat dipresentasikan dengan sinyal sinus, dan sinyal lainnya dipresentasikan dengan sinyal cosinus. Dua sinyal *carrier* yang telah termodulasi akan digabungkan di transmitter. Kemudian di receiver sinyal *carrier* akan dipisahkan, untuk kemudian diambil datanya dan digabungkan[9].

Pada QAM, constellation points (titik konstelasi) biasanya diatur berbentuk persegi dengan jarak yang sama antara titik dengan bidang vertikal dan horizontal. Selain konfigurasi ini, terdapat juga konfigurasi yang lain (contoh : Cross-QAM). Nilai M pada M-QAM menunjukkan jumlah constellation point yang terdapat pada diagram konstelasi, dimana tiap simbol mewakili $(\log_2 M)$ bit data[9].

2.4 Peak To Average Power Ratio

PAPR adalah perbandingan antara daya puncak sinyal dengan daya rata-rata. PAPR juga merupakan ukuran fluktuasi tepat sebelum *amplifier*. Pada suatu sinyal PAPR $X(t)$ (hasil mapping QAM baseband) adalah sebagai berikut:

$$PAPR = \frac{P_{peak}}{P_{average}} = \frac{\max [|x_n|^2]}{E[|x_n|^2]}$$

Dimana x_n adalah sinyal OFDM setelah blok IFFT. $E[|x_n|^2]$ adalah operator ekspektasi yang merupakan daya rata-rata. Sinyal kompleks *baseband* OFDM untuk N *subcarrier* dipresentasikan sebagai[4] :

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{n}} e^{j2\pi n \Delta f t}, \quad 0 \leq t \leq NT$$

dimana $j = \sqrt{-1}$, Δf adalah *subcarrier spacing*, dan NT adalah periode dari simbol OFDM[12].

Pada umumnya nilai PAPR diekspresikan secara statistik dengan menggunakan *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF). CCDF dinyatakan dengan[7] :

$$CCDF_{PAPR} = 1 - (1 - e^{-PAPR_0})^N$$

2.5 BER

Bit Error Rate (BER) adalah suatu laju kesalahan bit yang timbul dalam suatu sistem transmisi sinyal digital yang merupakan ukuran kualitas transmisi digital. BER merupakan perbandingan antara jumlah bit *error* dan jumlah bit yang diterima. Secara matematis BER dapat dinyatakan dengan:

$$BER = \frac{\text{bit error}}{\text{bit achieve}}$$

2.6 Transformasi Wavelet

Wavelet *daubechies* ditemukan oleh Ingrid Daubechies, wavelet *daubechies* sendiri masuk kedalam anggota keluarga wavelet orthogonal yang mendefinisikan fungsi DWT (*Discrete Wavelet Transform*). Wavelet *daubechies* dinyantakan dalam *dbN* dimana *N* adalah ordo atau indeks yang digunakan yaitu 2 sampai 20. Penurunan koefisien wavelet dilakukan dengan membalik urutan koefisien fungsi skala dan kemudian membalik tanda setiap satuan waktu. Secara matematis dapat dituliskan dengan

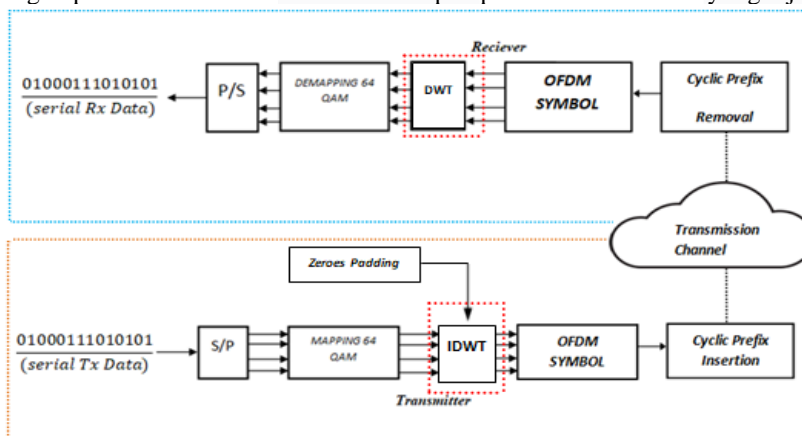
$$b_k = (-1)^k a_{N-1-k}$$

Dimana *k* adalah koefisien indeks, *b* adalah koefisien sekuensial, *a* adalah koefisien *scaling*, dan *N* adalah ordo wavelet *daubechies*.

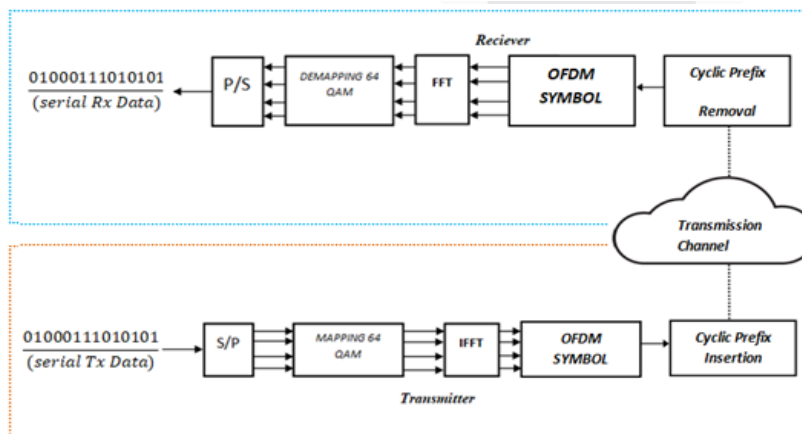
Wavelet *reversbior* dan *biosplines* adalah keluarga wavelet yang termasuk kedalam wavelet biorthogonal. Biorthogonal disini artinya keluarga wavelet ini memiliki inverse atau bersifat invertibel. Selain itu perbedaan mendasar dari anggota keluarga wavelet biorthogonal dan orthogonal adalah pada wavelet biorthogonal terdapat 2 fungsi *scaling* sehingga memungkinkan terdapat 2 indeks berbeda dalam satu wavelet yang digunakan. Wavelet biorthogonal biasanya dinyatakan seperti *rbioNd.Nr* atau *bioNr.Nd*, dimana *Nd* menunjukkan rekonstruksi filter dan *Nr* menunjukkan dekomposisi filter.

2.7 Diagram Blok Sistem

Simulasi yang akan dianalisa adalah dua simulasi yaitu simulasi dengan OFDM konvensional yang menggunakan IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) dan FFT (*Fast Fourier Transform*), yang kedua adalah simulasi dengan sistem Wavelet-OFDM dengan menggunakan IDWT (*Inverse Discrete Wavelet Transform*) dan DWT (*Discrete Wavelet Transform*). Lalu akan dilakukan pengamatan dengan membandingkan performa yang dengan parameter PAPR dan BER dari tiap tiap *scenario* simulasi yang dijalankan.



(a) Gambar Sistem WOFDM

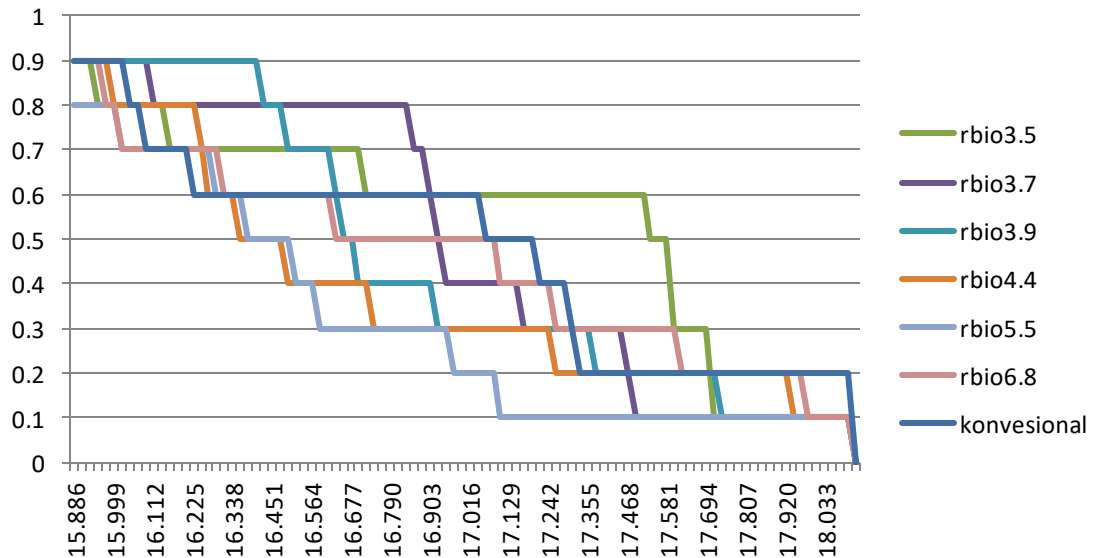


(b) Gambar Sistem OFDM

3. Pembahasan

3.1 Keluarga Wavelet Biorthogonal

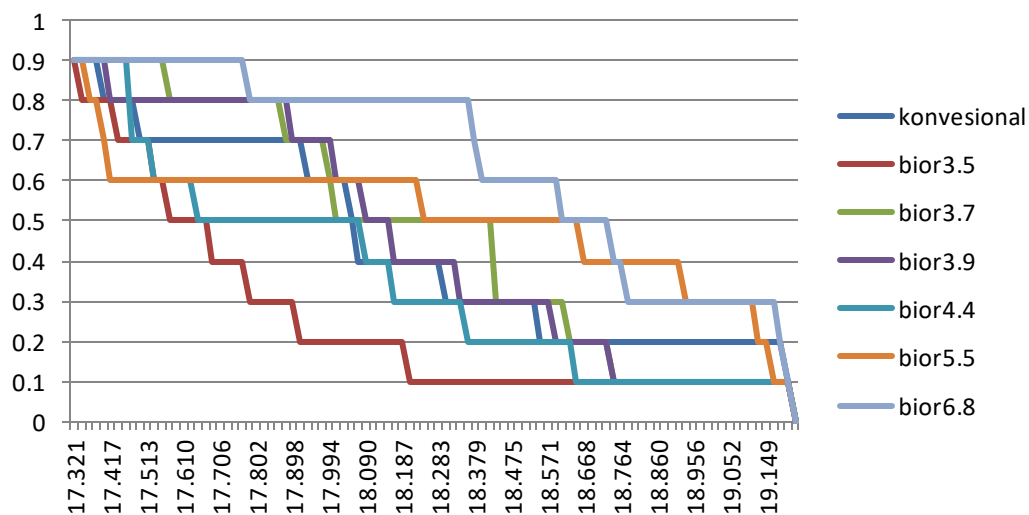
Pada wavelet biorthogonal terdapat 2 fungsi skala yang orthogonal satu dengan yang lain. Penamaan orde N ($N_r.N_d$) pada jenis wavelet ini menunjuk proses rekontruksi dan dekomposisi, dimana untuk rekontruksi menggunakan fungsi N_r sedangkan N_d untuk dekomposisi. Pada penelitian pertama akan dilakukan dengan wavelet *reversebior*. Keluarga wavelet *ReverseBior* yang digunakan antara lain *rbio3.5*, *rbio3.7*, *rbio3.9*, *rbio4.4*, *rbio5.5*, dan *rbio6.8* yang akan dibandingkan dengan OFDM konvensional.



Gambar 3.1. Grafik reduksi PAPR dengan keluarga wavelet *reversebior*.

Dari Gambar 3.1 dapat diamati untuk reduksi PAPR terbesar dihasilkan oleh *rbio5.5* adalah sebesar 1.017 dB, sehingga bila diamati kenaikan reduksi PAPR disini tidak dipengaruhi oleh kenaikan ordo dari keluarga wavelet yang dipergunakan namun lebih berdasarkan pemilihan kombinasi N_r dan N_d yang paling baik untuk reduksi PAPR.

Pada penelitian kedua untuk keluarga wavelet biorthogonal akan dilakukan dengan wavelet *bior*splines. keluarga *Bior*splines yang akan dipergunakan antara lain *bior3.5*, *bior3.7*, *bior3.9*, *bior4.4*, *bior5.5*, *bior6.8*, dan dibandingkan dengan PAPR pada OFDM konvensional.

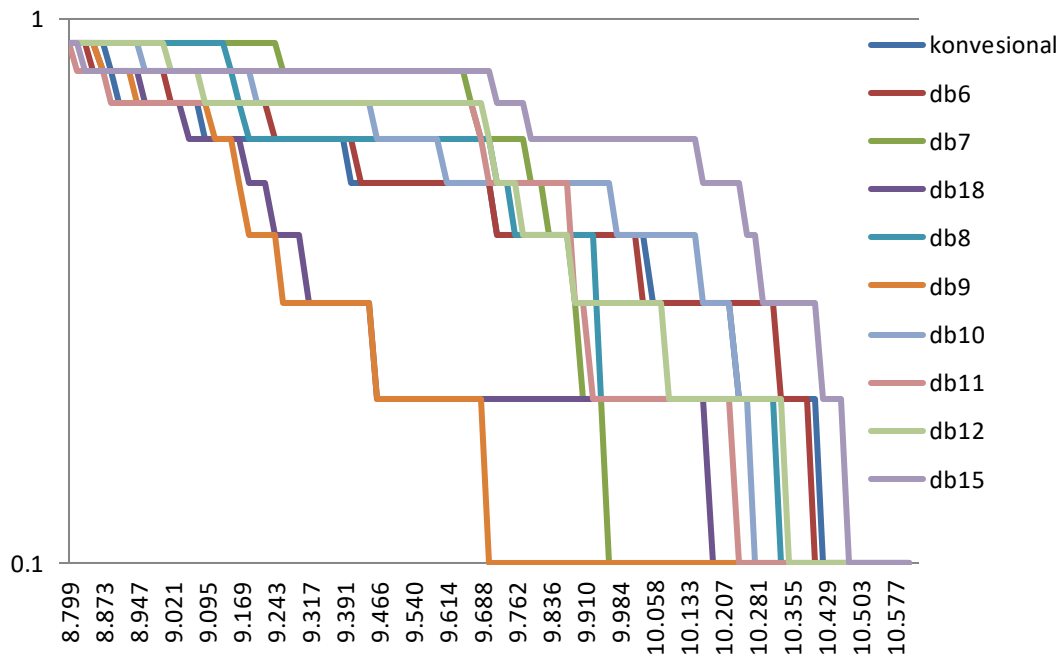


Gambar 3.2. Grafik reduksi PAPR dengan keluarga wavelet *bior*splines.

Dari Gambar 3.2 dapat diamati untuk reduksi PAPR terbesar dihasilkan oleh *bior3.5* yaitu sebesar 1db, sedangkan untuk reduksi PAPR terkecil dihasilkan oleh *bior6.8* yaitu sebesar 0 dB atau dengan kata lain *bior6.8* tidak menghasilkan reduksi PAPR.

3.2 Keluarga Wavelet Orthogonal

Pada analisa ketiga dilakukan analisa terhadap keluarga wavelet orthogonal yaitu *daubechies*. Dengan membandingkan PAPR dari anggota keluarga wavelet *daubechies* antara lain *db6*, *db7*, *db8*, *db9*, *db10*, *db11*, *db12*, *db15*, *db18* dengan OFDM konvensional.

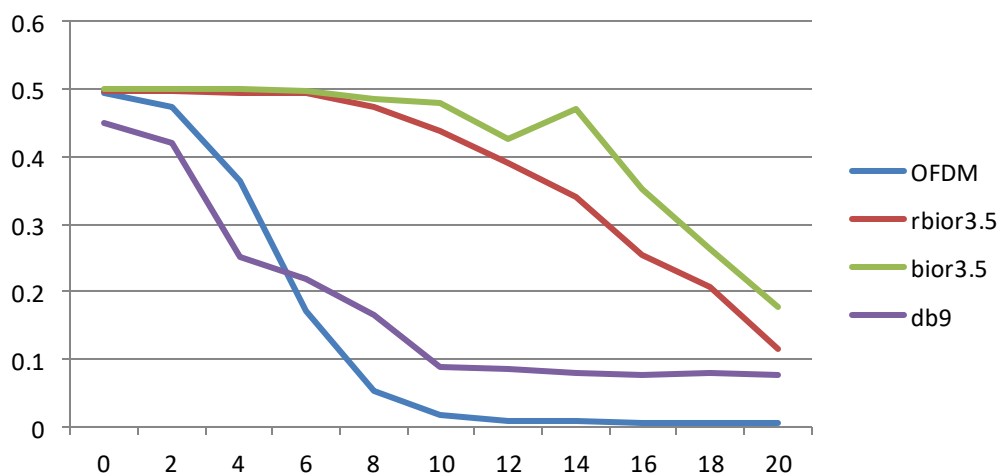


Gambar3.2. Grafik reduksi PAPR dengan keluarga wavelet *biorSplines*.

Sehingga didapatkan reduksi oleh *db9* sebesar 0.723dB dan untuk reduksi terkecil oleh *db6* sebesar 0.019dB. Lalu dapat diamati untuk *db15* pada percobaan menunjukkan kegagalan dalam reduksi PAPR karena *db15* memiliki kelebihan 0.07dB dari OFDM konvensional.

3.3 Analisa BER

Dari percobaan didapatkan nilai rata-rata BER untuk OFDM konvensional lebih kecil dibandingkan dengan OFDM dengan wavelet seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Analisa BER.

Dari percobaan BER didapatkan bahwa nilai reduksi PAPR berbanding terbalik dengan nilai BER yang akan didapatkan hal ini mungkin dikarenakan menurunnya kompleksitas sinyal dari wavelet *transform* apabila dibandingkan dengan penggunaan *fourier transform*.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, maka dari hasil analisa penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Reduksi PAPR dengan menggunakan keluarga wavelet *reversebior* menunjukkan reduksi terbesar yaitu 1.017 dB oleh *rbio5.5*, sedangkan untuk nilai reduksi terkecil ditunjukkan oleh *rbio6.8* yaitu 0.135 dB. Hal ini menunjukkan bahwa ordo dari keluarga *revesbior* tidak terlalu berpengaruh terhadap reduksi PAPR melainkan lebih kepada kombinasi N_r untuk konstruksi dan N_d untuk dekomposisi yang harus diperhatikan.
2. Reduksi PAPR dengan menggunakan keluarga wavelet *bior3.5* adalah yang menghasilkan nilai reduksi terbesar diantara keluarga wavelet yang lain yaitu sebesar 1 dB oleh *bior3.5*, karakter dari keluarga wavelet *bior3.5* sendiri menyerupai karakter dari keluarga *reversebior* yang sama-sama keluarga wavelet *biorthogonal*.
3. Reduksi PAPR dengan menggunakan keluarga wavelet *daubechies* dari keluarga wavelet orthogonal mereduksi PAPR sebesar 0.723 dB oleh *db9*. Ada beberapa hal menarik dimana ditemukan bahwa pada anggota keluarga *daubechies* yaitu *db15* yang mengalami kegagalan reduksi PAPR ditemukan nilai BER lebih baik dibandingkan OFDM konvensional, dari hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa pada percobaan ini laju nilai BER dan reduksi PAPR berbanding terbalik.
4. Pada Analisa nilai BER ditemukan anggota keluarga wavelet *daubechies* yaitu *db15* memiliki nilai BER yang baik atau sangat kecil mendekati nilai BER yang dimiliki oleh OFDM konvensional. Sedangkan *bior3.5* yang memiliki nilai reduksi PAPR paling baik memiliki nilai BER paling tinggi atau kurang baik dibandingkan dengan anggota keluarga wavelet yang lain.

Daftar Pustaka

- [1]. Triprasetyo, Yudhi, "Analisa dan perbandingan teknik Clipping untuk reduksi PAPR dan kode koreksi error untuk performansi BER pada OFDM", Tesis: Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2011.
- [2]. *LTE Frequently Asked Question, What is LTE?*. diakses pada laman "http://lteworld.org/faq%22" Pada 15 Oktober 2017
- [3]. Sunarto, Wahyu Eko, "Reduksi PAPR dan peningkatan performansi BER pada sistem OFDM menggunakan teknik Hybrid DCT-Wavelet transform dan Companding μ -Law Transfor", Tesis: Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2012.
- [4]. Manurung, Erickson. 2008. "Reduksi PAPR Menggunakan Partial Transmit Sequences dan Cyclic Coding pada Sistem OFDM" Telkom University. Bandung.
- [5]. Juwono, Filbert Hillman & Gunawan, Dadang. 2010, "Prinsip-Prinsip OFDM" ANDI, INDONESIA
- [6]. Molisch, Andreas F, 2011. "Wireless Communication 2nd Edition". John Wiley & Sons, UK
- [7]. Pratama, Anggi. 2013. "Analisa Reduksi PAPR Menggunakan Kombinasi Selective Mapping dan Clipping pada Sistem OFDM". Telkom University, Bandung.
- [8]. Crest Factor diakses di laman "https://en.wikipedia.org/wiki/Crest_factor". Diakses Pada 14 November 2017
- [9]. Cho, Yong Soo., dkk. 2010. "MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB". John Wiley & Sons (Asia). Singapore.
- [10]. Putra, Randy. 2012. "Reduksi PAPR Pada OFDM Dengan Menggunakan Transformasi Wavelet Dan Teknik Clipping.
- [11]. Byung Moo and Younggok Kim. 2017 "Interference-Aware PAPR Reduction Scheme to Increase the Energy Efficiency of Large-Scale MIMO-OFDM Systems". MDPI energies South Korea.
- [12]. Wireless Communication System Modul 6 Modulasi Multicarrier Faculty of Electrical Engineering. Telkom Univeristy. diakses dari "http://ukeusman.staff.telkomuniversity.ac.id/files/2015/03/Modul-6_Modulasi-Multicarrier-WCS_Revisi.pdf" diakses pada 21 November 2017

