

# Analisa Power Spectral Density pada Sistem Orthogonal Wavelet Division Multiplexing Berbasis Wavelet Packet

Irwan Dinata

babel\_milano@yahoo.com

Universitas Bangka Belitung

## Abstrak

Pada komunikasi nirkabel, tuntutan untuk menyediakan layanan data kecepatan tinggi dengan memberikan kinerja yang baik memunculkan teknik baru dalam peningkatan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas sinyal akibat Frequency Selective Fading. Salah satu teknik multicarrier yaitu Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OWDM). Pada OWDM, Invers Wavelet Packet Transform (IWPT) digunakan untuk membangkitkan simbol terkirim pada Transmitter dan Forward Wavelet Packet Transform (WPT) akan mengembalikan simbol data terkirim tersebut pada Receiver. Sistem OWDM ini akan membagi band frekuensi ke dalam beberapa subband yang berdiri independen dan terisolasi secara spektral yang disebut subchannelization. Dari hasil simulasi Power Spectral Density (PSD), Overlapping antar subband diperlihatkan dari titik puncak untuk subband pertama, berada di titik dasar subband selanjutnya. Daya setiap subcarrier-nya tersebar hanya di sebagian dalam subband dan side lobe untuk tiap subband tidak sebar pada Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

**Kata kunci** – Wavelet Packet, Orthogonal, Power Spectral Density

## Abstract

In wireless communications, demand to provide high-speed data services with good performance raises new techniques to increase spectrum efficiency and improved signal quality due to frequency selective fading. Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OWDM) its example. In OWDM, Inverse Wavelet Packet Transform (IWPT) is used to generate the transmitted symbol on the Transmitter and the Forward Wavelet Packet Transform (WPT) will restore the transmitted data symbol on the Receiver. The OWDM system will divide the frequency band into several subbands that independent and isolated spectral called subchannelization. From the Power Spectral Density (PSD), simulations, overlapping between subbands are shown on the peak point of the first subband, located at the base point of the next subband. The power of each of its subcarrier spread only partially in the subband and side lobe for each subband is not too width, compared with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).

**Keywords** - Wavelet Packet, Orthogonal, Power Spectral Density

## I. PENDAHULUAN

Permintaan pengiriman data dengan laju bit yang tinggi (*multirate*) dan terbatasnya *bandwidth* sudah menjadi suatu keharusan pada sistem komunikasi saat ini. Hal ini mendorong bagaimana data dapat dikirim secara cepat dalam *bandwidth* yang sempit dengan performansi yang lebih baik. Belum akibat dari kondisi kanal berupa *Frequency Selective Fading* yang akan merusak dan menurunkan kualitas dari sistem tersebut. Teknik yang dipergunakan untuk mengatasi hal di atas yaitu teknik *multicarrier*. Dengan teknik ini data-data berupa simbol bit dimodulasikan dengan banyak *carrier* sehingga mengubah kanal multipath *Frequency Selective Fading* menjadi kanal *Flat Fading*.

Teknik *multicarrier* yang paling banyak digunakan yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OFDM merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (ortogonal). Masing-masing *subcarrier* tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional berupa QPSK atau M-QAM. Selain OFDM, dikembangkan teknik baru *multicarrier* yang digunakan sebagai alternatif. Teknik tersebut yaitu *Orthogonal Wavelet Division Multiplexing* (OWDM). OWDM merupakan salah satu teknik *multicarrier* yang baru dikembangkan dalam sistem komunikasi yang menggunakan media nirkabel. Sistem ini yang sudah mendukung *multirate* dan menawarkan kecepatan akses pita lebar (*broadband*), sifat ortogonalitas yang tinggi dan dengan beberapa kelebihan dibanding OFDM yang sudah ada. OWDM ini menggunakan *wavelet* untuk mendukung *multicarrier* dan diaplikasikan menggunakan *wavelet packet*. OWDM ini menjadi kandidat dalam mendesain sistem baru yang lebih handal dari pada teknik sebelumnya dalam menciptakan generasi sistem komunikasi selanjutnya.

Ada beberapa hal yang dapat dianalisa dalam melihat kinerja OFDM dan OWDM diantaranya *Power Spectral Density* (PSD), Peak to Average Power Ratio (PAPR) dan *Bit Error Rate* (BER). Dalam penelitian ini yang akan dibahas kinerja PSD. Pengujian PSD bertujuan mengamati kelakuan sinyal *multicarrier* pada sinyal OFDM dan OWDM yang terbentuk. Pembentukan spektral sinyal OFDM dan OWDM akan dianalisa dari proses terjadinya overlapping diantara

masing-masing *subcarrier*, sifat ortogonalitas dan besarnya daya yang terjadi. Sebagai variasi, pengujian dibedakan tipe *mother wavelet* yang digunakan sehingga akan didapatkan *mother wavelet* yang paling optimum untuk parameter simulasi diatas.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Prinsip Ortogonalitas

Istilah orthogonal dalam modulasi *multicarrier* mengandung makna hubungan matematis antara frekuensi yang digunakan. Dua atau lebih sinyal dikatakan ortogonal (saling tegak lurus) jika saling bebas satu sama lain. Dengan persamaan matematika bisa diekspresikan sebagai berikut, dua buah sinyal dalam selang [a,b] dikatakan ortogonal bila<sup>[4]</sup>:

$$\int_a^b \varphi_l(t)\varphi_k^*(t) dt = \begin{cases} E_k, & \text{jika } l = k \\ 0, & \text{jika } l \neq k \end{cases} \\ = E_k \delta(l - k)$$

Dimana (t) merupakan kompleks *konjugate* dari sinyal yang merupakan fungsi delta kronecker, yang didefinisikan sebagai:

$$\delta(l - k) = \begin{cases} 1, & \text{jika } l = k \\ 0, & \text{jika } l \neq k \end{cases}$$

Pentingnya mempertahankan ortogonal diantara *subcarrier* untuk menjaga agar *subcarrier* tidak mengalami interferensi dan setiap *subcarrier* dapat dideteksi sesuai dengan simbol masukannya.

### B. Wavelet Packet Transform

*Wavelet packet transform* (WPT) adalah jenis *wavelet transform* dengan pembagian subband yang lebih menyeluruh. Dalam artian jika pada *wavelet transform* biasa, hanya dilakukan iterasi pada cabang *low pass*, sedangkan pada *wavelet packet transform* iterasi juga dilakukan pada cabang *high pass* sehingga menghasilkan *subband* yang lebih banyak dengan resolusi yang tinggi.

WPT bisa didefinisikan melalui sebuah filter FIR dan diimplementasikan pada berbagai macam tipe *mother wavelet*. Pada *invers wavelet packet transform* terjadi proses *reconstruction /synthesis* membentuk sebuah sinyal sebagai penjumlahan dari bentuk gelombang/ *subcarrier*. Bentuk gelombang ini bisa dibangun dengan J iterasi yang saling berurutan dan untuk setiap iterasinya terdiri dari proses *filtering* dan *up-sampling*. Tanda  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  merupakan operasi konvolusi, dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{cases} \varphi_{j,2m}[k] = \langle h_{lo}^{rec}[k], \varphi_{j-1,m}[k/2] \rangle \\ \varphi_{j,2m+1}[k] = \langle h_{hi}^{rec}[k], \varphi_{j-1,m}[k/2] \rangle \end{cases} \text{ dengan } \varphi_{0,m}[k] = \begin{cases} 1 & k=1 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Dimana j adalah indeks iterasi,  $1 \leq j \leq J$  dan m dan indeks bentuk gelombang  $0 \leq m \leq M-1$ . Untuk *forward wavelet packet transform* terjadi proses *decomposition*, dilakukan operasi kebalikannya dengan proses *filtering* dan *down-sampling*. Untuk gambaran selengkapnya dapat dilihat pada gambar 1.

Dalam sistem *orthogonal wavelet*, penskalaan filter  $h_{lo}^{rec}$  dan pergeseran  $h_{hi}^{rec}$  membentuk sepasang *quadrature mirror filter*. Oleh karena itu, pengetahuan tentang penskalaan filter dan kedalaman *wavelet tree* cukup untuk mendesain *wavelet transform* dan penerapan WPT yang *orthogonal*<sup>[1]</sup>.

### C. Sistem Orthogonal Wavelet Division Multiplexing menggunakan wavelet packet.

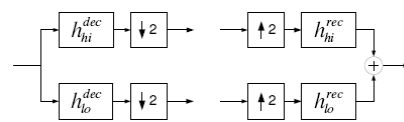
Blok diagram dari sistem OWDM menggunakan *wavelet packet* ini secara umum terdapat pada gambar 2.

Sinyal transmisi dalam domain diskrit,  $x[k]$  disusun dari simbol termodulasi yang berurutan, yang mana setiap sinyal dibangun sebagai penjumlahan sebanyak M dari bentuk gelombang  $\varphi_m[k]$  dengan amplituda termodulasi secara individu. Dapat di jelaskan dalam domain diskrit sebagai berikut:

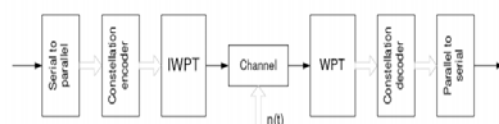
$$x[k] = \sum_s \sum_{m=0}^{M-1} a_{s,m} \varphi_m[k - sM]$$

Dimana  $a_{s,m}$  adalah sebuah konstelasi terkodekan dari -s simbol data pemodulasian pada m bentuk gelombang. T adalah periode sampling, dalam interval  $[0, LT-1]$  adalah perioda dimana  $\varphi_m[k]$  pada  $m \in \{0..M-1\}$ .

Dalam OWDM menggunakan *wavelet packet* ini, bentuk gelombang dari *subcarrier* diperoleh melalui *wavelet packet transform* (WPT). Pada OFDM, *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT) digunakan untuk membangkitkan simbol terkirim pada *transmitter* dan *Forward Fast Fourier Transform* (FFT) akan mengembalikan simbol data terkirim tersebut pada *receiver*. Sedangkan pada OWDM, IFFT digantikan dengan IWPT pada *Transmitter* dan FFT digantikan dengan WPT pada *Receiver*. Pengolahan sinyal melalui WPT biasanya direferensikan sebagai *Decomposition* dan operasi kebalikannya dinamakan *Reconstruction* atau *Synthesis*.



Gbr.1 Blok dasar wavelet packet transform dengan proses decomposition dan reconstruction.



Gbr. 2 Diagram blok sistem komunikasi OWDM Wavelet Packet

OWDM menggunakan *wavelet packet* termasuk keluarga dari transformasi yang saling overlap, permulaan dari simbol baru dikirimkan sebelum berakhir simbol sebelumnya. Bentuk gelombang mengalami pergeseran yang saling ortogonal. Keortogonalitas antar simbol akan tetap terjaga meskipun meskipun simbol yang beurutannya saling overlap. Ini akan memberikan keuntungan peningkatan lokalisasi domain frekuensi disediakan dengan bentuk gelombang yang banyak. Dapat diartikan panjang dari filter *wavelet*  $L_0$  menghasilkan  $M$  bentuk gelombang dan dijelaskan dalam persamaan berikut :

$$L = (M - 1)(L_0 - 1) + 1$$

Dalam keluarga *wavelet Daubechie* dengan panjang  $L_0$  sama dengan dua kali orde *vanishing*. Untuk orde 2 *wavelet Daubechie*  $L_0$  sama dengan 4 dan jika terdapat 32 *subcarrier* WPT, maka akan didapat bentuk gelombang dengan panjang  $L$  sama dengan 94. Data karakteristik tiap *wavelet* bisa dilihat di tabel 1.

OWDM memberikan beberapa keunggulan dari teknik *multicarrier*. Keunggulan tersebut seperti efisiensi tinggi yang dikarenakan hilangnya *Guard Interval* (GI). Hal ini berdasarkan prinsip *wavelet transform* yang terlokalisasi pada domain waktu dan frekuensi, dibandingkan dengan gelombang sinusoidal yang hanya terkonsentrasi pada domain frekuensi saja tetapi tidak pada domain waktu.

Dengan demikian, perbedaan domain waktu pada gelombang sinusoidal dengan satu periode simbol adalah sulit untuk tercapai. Pada OFDM diperlukan GI untuk mengurangi *Inter Symbol Interference* (ISI) sehingga dari penambahan GI tersebut, tentunya akan meningkatkan tambahan ruang frekuensi baru pada *bandwidth*. Hal ini akan menyebabkan efisiensi *bandwidth* jadi menurun.

Pada OWDM, GI bisa dihilangkan karena sifat antar subband-nya sudah saling ortogonal, dengan dihilangkannya GI maka efisiensi *bandwidth* pun dapat ditingkatkan. Sistem OWDM ini akan membagi pita frekuensi ke dalam beberapa *subband* yang berdiri independen dan terisolasi secara spektral yang disebut *subchannelization*. Daya sinyal *subband* terpusat pada sebuah *bandwidth* yang sangat sempit, tiap *subband* hanya menduduki sebuah bagian-bagian kecil dari pita frekuensi total dan overlap hanya terjadi dengan *subband* disebelahnya.

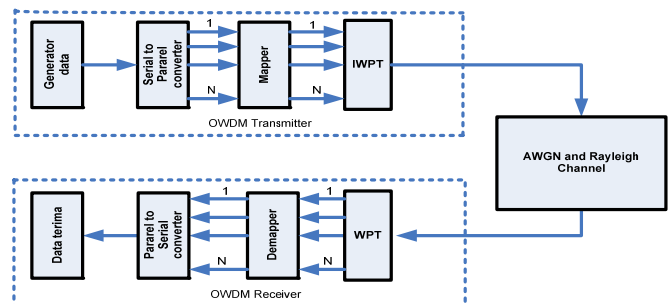
Tabel. 1 Karakteristik keluarga wavelet

Full name	Abbreviated name	Vanishing order	Length $L_0$
Haar	Haar	1	2
Daubechie	dbN	N	2N
Symlets	SymN	N	2N
Coiflet	coifN	N	6N

D. Blok sistem komunikasi OWDM menggunakan *wavelet packet*

Blok diagram dari sistem yang di kerjakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.

Pada gambar 2, generator data pada *transmitter* akan membangkitkan bit-bit serial secara acak. Bit-bit serial ini merupakan data kirim yang berisi informasi untuk dikirimkan ke *receiver*. Selanjutnya, bit-bit serial tadi diteruskan ke blok *serial to paralel converter* untuk dilakukan konversi data biner serial menjadi data biner paralel dan juga membagi data serial berkecepatan tinggi menjadi data paralel berkecepatan rendah. Setelah semua data serial tadi dikonversi ke data paralel, selanjutnya diteruskan ke *mapper*. Di *mapper*, masing-masing bit-bit paralel tadi akan dimodulasikan sesuai jenis modulasi yang digunakan, dalam penelitian ini digunakan modulasi QPSK dan M-QAM. Hasil keluaran *mapper* tadi berupa simbol kompleks akan dimodulasikan kembali dengan *Multi Carrier Modulation* (MCM) dalam hal ini *Wavelet Packet Modulation* (WPM) menuju blok *Inverse Wavelet Packet Transform* (IWPT). Pada blok IWPT ini akan menghasilkan sinyal *multicarrier* yang saling ortogonal dan akan ditransmisikan melalui media transmisi/kanal. Sinyal transmisi tersebut akan mengalami distorsi oleh kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan kanal *Multipath Rayleigh Fading*. Pada *Receiver*, sinyal yang telah terdistorsi tadi diterima oleh *Wavelet Packet Transform* (WPT) dan keluarannya menghasilkan simbol-simbol QPSK atau M-QAM kembali. Oleh *Demapper*, simbol-simbol tersebut didemodulasikan menjadi bit-bit paralel, dan proses terakhir pada blok *paralel to serial converter* menghasilkan bit-bit serial yang merupakan data terima. Dari data terima inilah nantinya akan dibandingkan dengan data kirim untuk dilihat besarnya kesalahan bit yang terjadi karena pengaruh kanal transmisi yang digunakan.



Gbr. 2 Diagram blok sistem komunikasi OWDM menggunakan *wavelet packet*

E. Diagram Alir untuk Simulasi OWDM menggunakan packet wavelet

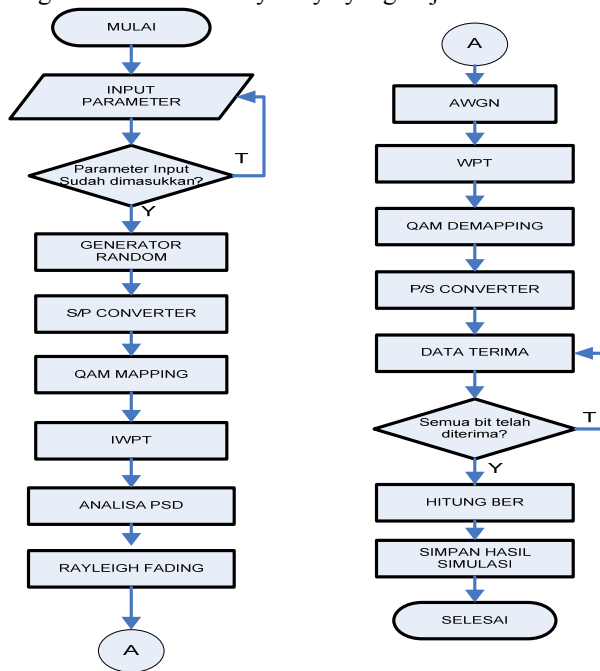
Diagram alir untuk simulasi dari pemodelan dapat dilihat pada gambar 3. Diagram alir pada simulasi OWDM menggunakan wavelet packet ini digunakan untuk menjelaskan seluruh proses pemodelan dan proses analisa dari output yang akan diinginkan, diantaranya Power spectral Density (PSD) masing-masing untuk pengujian OWDM dan OFDM, jenis mother dan order wavelet berbeda-beda, banyaknya jumlah sub-band dan jenis modulasi (QPSK dan M-Q-AM).

F. Parameter Simulasi

Menentukan perencanaan parameter yang akan disimulasikan memiliki peranan yang sangat penting demi keberhasilan dalam melakukan simulasi. Perencanaan parameter simulasi dapat dilihat pada tabel 2.

G. Pengujian dan Analisa yang akan Dilakukan

Pengujian Power Spectral Density (PSD) bertujuan mengamati kelakuan sinyal multi-carrier pada sinyal OFDM dan OWDM yang terbentuk. Pembentukan spektral sinyal OFDM dan OWDM akan dianalisa dari proses terjadinya overlapping diantara masing-masing *subcarrier*, sifat ortogonalitas dan besarnya daya yang terjadi.



Gbr. 3 Diagram alir simulasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Terjadinya Overlapping dan Sifat Ortogonal

Pengujian ini bertujuan mengamati kelakuan sinyal *multicarrier* pada sinyal OWDM yang terbentuk dari proses terjadinya *overlapping* diantara masing-masing *subcarrier* dan sifat keortogonalitasnya. Pengujian OFDM dan OWDM diimplementasikan dengan 4 *subcarrier/subband* dan *wavelet* yang digunakan jenis Symlet orde 6.

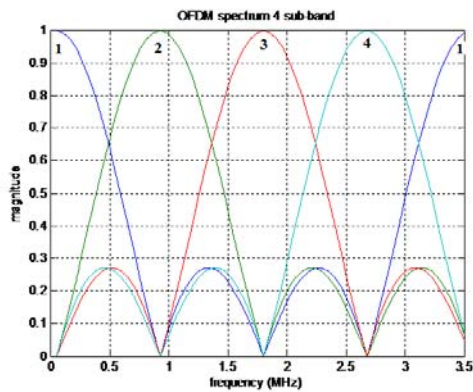
Untuk menganalisa spektrum sinyal pada OWDM, terlebih dahulu dianalisa spektrum OFDM yang telah ada sebelumnya dengan parameter masukan yang sama. Pada gambar 4.a daya PSD OFDM yang terbentuk tersebar di semua bagian *subband*-nya dan *side lobe*-nya besar. Pada frekuensi 1 MHz, *overlapping* antar *subband* diperlihatkan dari titik puncak pada *subband 2*, berada di titik dasar *subband 1* dan 3. Begitu juga dengan *subband* yang lainnya. Lebar setiap *subband* sebesar 1,75 MHz, jarak antar *subband* 0,75 MHz diukur selisih frekuensi antara 1,75 MHz pada puncak *subband 4* dengan 1 MHz pada *subband 3*. Besarnya *bandwidth* total sebesar 3,5 MHz, diperoleh sebanyak 4 *subband*.

Pada gambar 4.b PSD OWDM (Sym6), diperlihatkan 4 *subband* yang terjadi pada frekuensi 1- 2,25 MHz, sehingga hanya terpakai 1,25 MHz untuk 4 *subband*. Lebar setiap *subband* sebesar 0,5 MHz, jarak antar *subband* 0,25 MHz diukur selisih frekuensi antara 1,75 MHz pada puncak *subband 4* dengan 1,5 MHz pada *subband 3*. Dengan *bandwidth* total 3,5 MHz, bisa digunakan 12 *subband*.

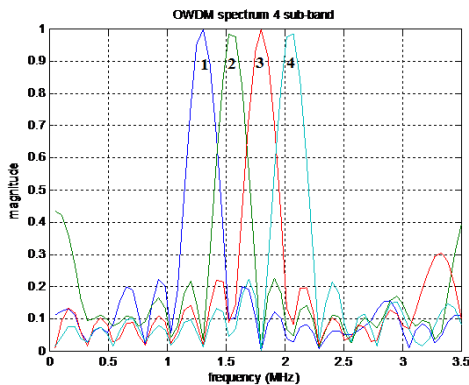
Tabel. 2 Parameter OFDM dan OWDM menggunakan Packet Wavelet

Parameter	Value and Unit
Carrier frequency ( $f_c$ )	2 GHz
Bandwidth (BW)	3.5 MHz
Sampling Frequency ( $F_s$ ) (OFDM)	$n \times BW = 8/7 \times 3.5 = 4$ MHz
Sampling Time ( $T_{sam}$ ) (OFDM)	$1 / F_s = 1 / 4$ MHz = 0.25 $\mu s$
Sub-band	16, 32, 64, 128, 256, 512
BW per sub-band (OWDM)	218,7; 109,37; 54,68; 27,68; 13,67 ; 6,835 KHz
Level/iteration (OWDM)	4, 5, 6, 7, 8, 9
Subcarrier spacing ( $\Delta f$ ) (OFDM)	$F_s / sub-band$ 250; 125; 62.5; 31.25; 15.625; 7.8125 KHz
Useful symbol time ( $T_s$ ) (OFDM)	$1 / \Delta f = 4, 8, 16, 32, 64, 128 \mu s$
Modulation and Demodulation	QPSK, 16 and 64 QAM
Channels	AWGN and Rayleigh
Mother wavelet (OWDM)	$dbN, SymN, coifN,$
Cyclic Prefix (OFDM)	0,25
Number of transmission bit	100.000 bits
Bit Frame	10 ms
Bit rate	10 Mbps
Average Speed of User	0, 100 km/hours
Doppler frequency( $f_d$ )	0; 185.19 Hz (Based on speeds of user)





(a) OFDM



(b) OWDM (Sym6)

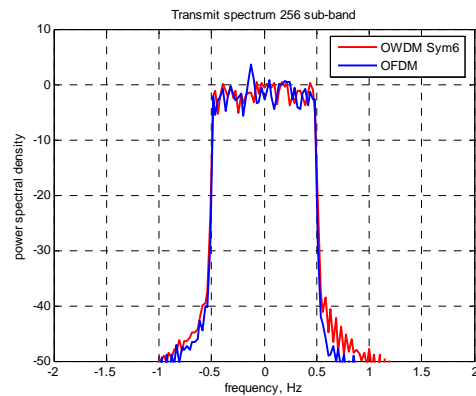
Gbr. 4 Perbandingan PSD OFDM dan OWDM dengan subband 4

Dari data tersebut OWDM lebih efisien dalam penggunaan spektral daya, daya setiap subband tersebar hanya di sebagian kecil subband tersebut dan lebar side lobe untuk tiap subband tidak sebesar pada OFDM sehingga kemungkinan mempengaruhi subband di sebelahnya menjadi kecil, tentunya ortogonalitas dapat dipertahankan walaupun jarak antar subband diperkecil. Hal ini juga berarti Inter Symbol Interference (ISI) dapat ditekan. Untuk perbedaan penggunaan jenis mother, orde dan panjang koefisien filter wavelet akan menghasilkan spektrum sinyal yang berbeda-beda.

### B. Spektrum Sinyal Transmisi OFDM dan OWDM

Pengujian ini bertujuan mengamati spektrum sinyal transmisi OFDM dan OWDM secara keseluruhan. Simulasi dijalankan menggunakan parameter OFDM (CP 0,25) dan untuk OWDM menggunakan wavelet jenis Symlet orde 6. Untuk melihat sinyal transmisi keseluruhan digunakan jumlah subband sebesar 256.

Untuk mengamati sinyal transmisi keseluruhannya diperlukan subband yang besar untuk mempermudah melihat hasil spektrum sinyalnya. Sinyal transmisi ini adalah hasil seluruh penjumlahan simbol-simbol kompleks per masing-masing subband, sehingga didapat deretan simbol-simbol kompleks baru yang disebut sinyal OFDM atau OWDM. Dari prinsip tersebut, spektrum sinyal yang dihasilkan akan menghasilkan daya keluaran yang berbeda diantara keduanya,



Gbr. 5 Spektrum sinyal transmisi OFDM (CP 0,25) dan OWDM 256 subband

dimana besarnya kerapatan daya tergantung persebaran daya tersebut di seluruh bandwidth per subband, sehingga apabila digabungkan menjadi sinyal transmisi sifat yang sama akan didapatkan. Pada gambar 5 spektrum transmisi diantara keduanya memberikan hasil yang kurang lebih sama, hanya pada OFDM PSD yang didapat lebih besar pada 3,5 dB/Hz, sedangkan OWDM Sym6 1,3 dB/Hz. Hal ini dikarenakan penggunaan daya per simbol hanya terdapat pada sebagian lebar subband saja di dibandingkan OFDM yang tersebar diseluruh subband sehingga kerapatan dayanya lebih besar pada OFDM.

## IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan, pengujian PSD pada OFDM lebar setiap subband sebesar 1,75 MHz dengan jarak antar subband 0,75 MHz, menghasilkan 4 subband dengan bandwidth total 3,75 MHz. Berbeda dengan OWDM (Sym6) lebar setiap subband sebesar 0,5 MHz, jarak antar subband 0,25 MHz. OWDM menghasilkan 4 subband hanya menggunakan 1,25 MHz. Jika menggunakan bandwidth total yang sama dengan OFDM 3,75 MHz akan didapatkan 12 subband. Hal ini membuat OWDM lebih efisien dalam penggunaan spektral daya, dan tentunya ortogonalitas dapat dipertahankan walaupun jarak antar subband diperkecil.

## REFERENSI

- [1] Antony Jamin, and Petri, M., *Wavelet Packet Modulation for Wireless Communication*, Wireless Communications and Mobile Computing Journal, March 2005, Vol. 5, ISSUE 2.
- [2] Elysabeth, *Tugas Akhir: Analisa Performansi Discrete Wavelet Multitone (DWMT) Pada VDSL*. Departemen Teknik Elektro. IT Telkom Bandung, 2008.
- [3] Hasen, Fadel,S, *The Performance of Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OWDM) in Flat Rayleigh Fading Channel*, Journal of Engineering and Development, Vol.12, No.1, March 2008 pp.131-147.
- [4] Karina, A, *Analisis dan Simulasi Pengaruh Penggunaan Power Loading terhadap PAPR pada Sistem OFDM*. Departemen Teknik Elektro. IT Telkom Bandung, 2008.
- [5] Richard van Nee, Ramjee Prasad, *OFDM For Wireless Multimedia Communications*. Boston : Artech House, 2000
- [6] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)



