

PERBANDINGAN POWER SPECTRAL DENSITY SISTEM OWDM DAN OFDM PADA KANAL RAYLEIGH**COMPARISON OF OWDM AND OFDM POWER SPECTRAL DENSITY OVER RAYLEIGH CHANNEL**Yuyun Siti Rohmah¹, Ali Muayyad², Rina Pudji Astuti³¹Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom^{2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom¹yuyunsr@tass.telkomuniversity.ac.id, ²alimuayyad@telkomuniversity.ac.id,³rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id**Abstrak**

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier* untuk mengatasi permasalahan kanal multipath seperti frekuensi selektif fading. *Orthogonalitas* pada sistem OFDM menghasilkan banyak *sub-carrier* yang dapat ditransmisikan secara bersamaan pada spektrum frekuensi yang terbatas tanpa saling berinterferensi. Efisiensi bandwidth didapat karena masing-masing *sub-carrier* saling *orthogonal* sehingga antara *sub-carrier* yang berdekatan dapat dibuat *overlapping*. OWDM (*Orthogonal wavelet division multiplex*) merupakan suatu sistem *multicarrier* alternatif dari OFDM dan telah diteliti sebagai kandidat yang dapat diaplikasikan pada *wireless communication*. Sistem OWDM menggunakan *Inverse Discrete wavelet transform* (IDWT) sebagai pembangkit *subcarrier-subcarrier* yang saling *orthogonal* dan berfungsi sebagai modulator. Sedangkan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) digunakan sebagai demodulator. Penelitian ini membandingkan *power spectral density* dari sistem OWDM dan OFDM. Dari hasil simulasi perbandingan *power spectral density* (PSD) didapatkan bahwa PSD dari masing-masing sistem sama. Pada OWDM, pembagian *band frekuensi* untuk setiap *sub-band* berbeda kecuali *sub-band* pada level yang sama. Semakin tinggi level *sub-band* maka semakin lebar *band* frekuensinya.

Kata kunci : OFDM, OWDM, power spectral density**Abstract**

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a multicarrier modulation technique to mitigate the problem of multipath channel such as frequency selective fading. Orthogonality in OFDM provides any sub-carrier that be transmitted simultaneously over limited of frequency spectrum. Bandwidth efficiency to be obtained because between adjacent sub-carriers can be made overlapping and orthogonal of each other. OWDM (*Orthogonal wavelet division multiplex*) is alternative system of OFDM and it has been proposed as a candidate that can be implemented in wireless communication. OWDM used *Inverse Discrete wavelet transform* (IDWT) to generate orthogonal subcarriers and it also as modulator. While DWT (*Discrete Wavelet Transform*) is used as a demodulator. This paper compared the *power spectral density* (PSD) of OWDM and OFDM system. Simulation resulted the comparison of both system is same, but the division of each sub-band is different in OWDM system except for sub-band in the same level. The highest level have more a wide bandwidth.

Keywords: OFDM, OWDM, spectral density

1. PENDAHULUAN

Kemudahan akses informasi untuk mendukung beragam aktivitas manusia sangat diperlukan untuk mendukung perkembangan teknologi telekomunikasi seperti pada saat ini. Maka dari itu dibutuhkan sistem komunikasi *wireless* yang mendukung aktivitas *mobile user* yang dapat menyediakan layanan data berkecepatan tinggi. OFDM adalah salah satu teknik multicarrier yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut karena utilitas spektralnya yang efisien dan juga ketahanan terhadap frekuensi *selective fading*. Hal ini dikarenakan penggunaan *sub-carrier* saling *orthogonal* sehingga memungkinkan *sub-carrier* saling *overlapping*.

Selain OFDM, sistem *multicarrier* berbasis transformasi *wavelet* telah diajukan dan diberinama *Orthogonal Wavelet Division Multiplexing* (OWDM). Teori *wavelet* telah diramalkan oleh beberapa penulis sebagai *platform* yang baik untuk membangun *multicarrier* berbasis *waveform*. Akansu et.al. menekankan hubungan antara *filterbank* dan teori *multiplexer* dan memprediksikan bahwa OWDM mempunyai kemampuan untuk bermain di sistem komunikasi yang akan datang [1]. Pada sistem OWDM, *Inverse Fast Fourier Transform* dan *Fast Fourier Transform* digantikan dengan *Inverse Discrete Wavelet Transform* dan *Discrete Wavelet Transform* [8]. Pada Penelitian ini akan membandingkan *power spectral density* dari kedua sistem yaitu OFDM dan OWDM.

2. LANDASAN TEORI

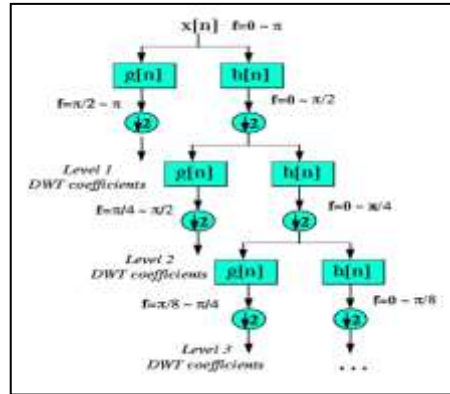
2.1 *Orthogonal Wavelet Division Multiplexing* (OWDM)

Orthogonal wavelet Division Multiplexing (OWDM) adalah suatu *multicarrier technique* alternatif dari *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OWDM dalam sistem komunikasi terdiri dari proses sintesa sinyal yang berupa *filter bank* dengan *multiple* input dan satu output pada *transmitter*. Masing-masing input merupakan sub-simbol dari *supersymbol* sebagai keluaran dari skema modulasi. Sedangkan output merupakan sinyal OWDM yang merepresentasikan *supersymbol*. Proses sintesa menghasilkan sinyal OWDM sebagai kombinasi dari pulsa-pulsa OWDM *weighted*. Masing-masing pulsa OWDM *weighted* merupakan representasi dari simbol. Pada *receiver* dilakukan proses analisis sinyal menggunakan *filter bank*, dengan input satu dan *multiple output*.

2.2 Transformasi Wavelet Diskrit

2.2.1 Transformasi Wavelet Diskrit Maju (*Forward DWT*) [3][6]

Pada transformasi wavelet diskrit, representasi sinyal *digital* diperoleh dengan menggunakan teknik *filtering digital*. Filter dengan frekuensi *cut-off* berbeda digunakan untuk menganalisa sinyal pada skala yang berbeda. Sinyal dilewatkan ke dalam rangkaian *High Pass Filter* (HPF) dan *Low Pass Filter* (LPF) untuk menganalisa frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Resolusi sinyal merupakan ukuran jumlah informasi detail dari sinyal diubah dengan operasi *filtering* sedangkan skala diubah dengan operasi *downsampling* dan *upsampling* (*sub sampling*). *Subsampling* sinyal yang berarti menurunkan *sampling rate* atau membuang beberapa sampel sinyal. *Upsampling* sinyal yang berarti menaikkan *sampling rate* sinyal dengan menambahkan sampel-sampel baru ke dalam sinyal. Dikarenakan pembagian *filtering* yang tidak simetris untuk setiap *sub-band* sebelumnya, maka pembagian *bandwidth* per *sub-band* tidak sama. Dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini, diilustrasikan dimana sinyal $x[n]$ merupakan sinyal asli akan dilakukan dekomposisi dengan $h[n]$ dan $g[n]$. *Bandwidth* untuk setiap sinyal ditandai dengan f .



Gambar 1. Prosedur Proses Dekomposisi sinyal dengan *Discrete Wavelet Transform*

Dari Gambar 1 dapat dijelaskan prosedur dari *Discrete Wavelet Transform* adalah:

- Sinyal dilewatkan ke HPF dan LPF, masing-masing untuk menganalisa sinyal frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. *Filtering* di sini sesuai dengan operasi konvolusi sinyal dengan respon impuls filter.

$$x[n] * h[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[k].h[n - k] \tag{1}$$

- Setelah sinyal melalui LPF dan HPF, dilakukan subsampling dengan faktor 2. Secara matematis dapat dituliskan:

$$y[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} h[k].x[2n - k] \tag{2}$$

- DWT menganalisa sinyal pada *band* frekuensi dan resolusi yang berbeda. Dekomposisi sinyal menghasilkan koefisien detil dan koefisien aproksimasi. DWT terdiri dari 2 set fungsi yaitu *scaling function* dan *wavelet function* yang terdiri dari proses *filtering* HPF dan LPF serta *up/down sampling*. Sinyal asli $x[n]$ pertama kali di lewatkan ke HPF $g[n]$ dan LPF $h[n]$. Setelah proses *filtering*, keluaran masing-masing filter dilakukan *subsampling* dengan faktor 2. Sinyal keluaran proses dekomposisi untuk setiap level secara matematis dapat ditulis :

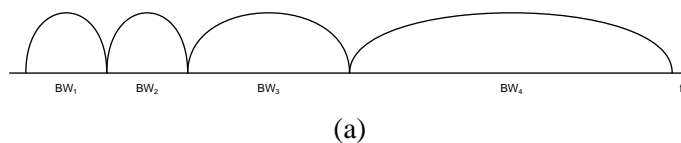
$$y_{high}[k] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n].g[2k - n] \tag{3}$$

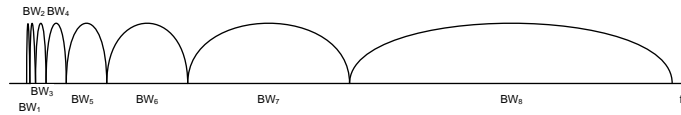
$$y_{low}[k] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n].h[2k - n] \tag{4}$$

- Hubungan HPF dan LPF dilihat dari persamaan :

$$g[L - 1 - n] = (-1)^n . h[n] \tag{5}$$

Dimana L adalah panjang filter.





(b)
Gambar 2. Pembagian Bandwidth: (a) 4 sub-band, (b) 8 sub-band

2.2.2 Transformasi Wavelet Diskrit Balik (IDWT) [3][6]

Proses rekonstruksi dilakukan pada blok ini yaitu dengan proses *upsampling* dan *filtering*. Prosedur dari IDWT adalah:

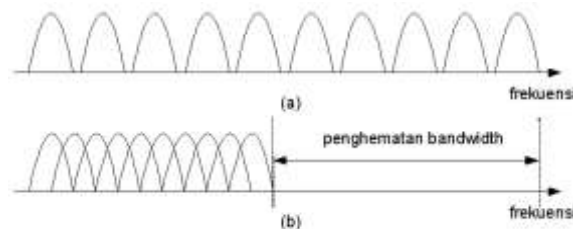
- Sinyal pada setiap level dilakukan *upsampling* oleh faktor 2, lalu dilewatkan ke sintesis filter *highpass* dan kemudian dijumlahkan dimana *upsampling* dilakukan untuk menggabungkan sinyal.
- Persamaan rekonstruksi dapat dituliskan :

$$x[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} (y_{high}[k] \cdot g[2k - n]) + \sum_{-\infty}^{\infty} (y_{high}[k] \cdot g[2k - n]) \quad (6)$$

- Filter yang memberikan rekonstruksi yang sempurna salah satunya yaitu filter *wavelet* yang dikembangkan oleh *Ingrid Daubechies* yang disebut dengan *wavelet Daubechies*.

2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

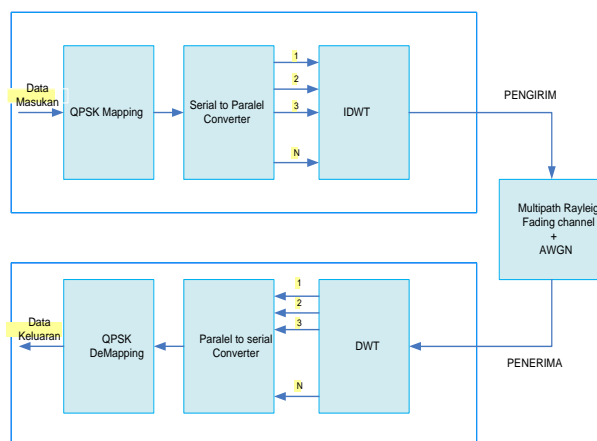
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan frekuensi saling tegak lurus sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan *multipath fading*. *Orthogonalitas* pada OFDM memperbolehkan transmisi secara simultan pada *sub-carrier* pada band frekuensi yang terbatas tanpa terjadi interferensi.



Gambar 3. Spektrum multicarrier (a) tanpa overlapping, (b) dengan Overlapping

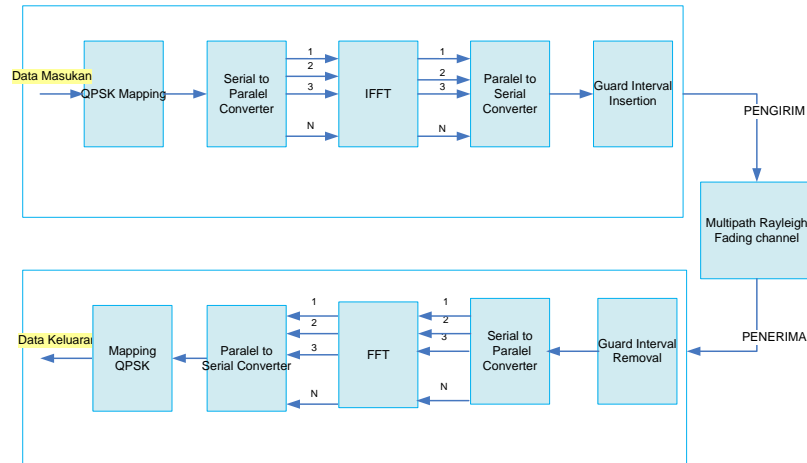
3. PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Sistem OWDM dan OFDM



Gambar 4. Pemodelan Sistem OWDM menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit

Pemodelan Sistem OWDM menggunakan wavelet diskrit ditunjukkan oleh Gambar.4. Data input yang dibangkitkan oleh *generator* data kemudian dipetakan menggunakan QPSK menghasilkan simbol-simbol dengan 4 variasi simbol yg berbeda fasa. Blok *Serial to Parallel Converter* digunakan untuk membagi data keluaran *mapper* menjadi beberapa data paralel yang disesuaikan dengan jumlah *sub-band/* lengan/ level dari proses *reconstruction filter bank* (IDWT). Kemudian keluaran Pengirim ditransmisikan melalui kanal AWGN dan kanal *rayleigh* menuju ke penerima. Proses di penerima adalah kebalikan dari pengirim, proses *decomposition filter bank* digunakan untuk mendapatkan kembali simbol-simbol yang dikirim.



Gambar 5. Pemodelan Sistem OFDM

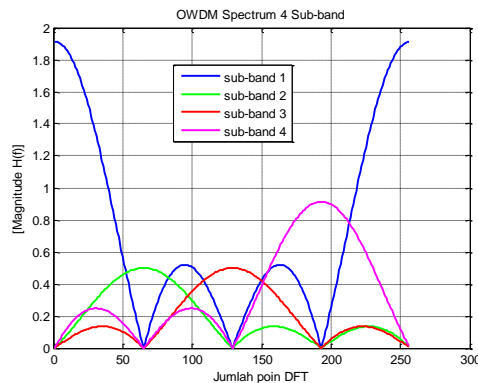
Gambar 5. menunjukkan pemodelan dari sistem OFDM. IFFT digunakan untuk membuat ortogonalitas antara *sub-carrier* sehingga spektrum *sub-carrier* dapat dibuat saling tumpang tindih dalam domain frekuensi tanpa saling berinterferensi. Penambahan *Guard Interval* pada awal simbol OFDM digunakan untuk menghilangkan efek ISI. *Guard interval* ini merupakan replika dari deretan akhir simbol OFDM yang disebut dengan *cyclic prefix*. FFT melakukan konversi dari sinyal OFDM dalam bentuk deretan simbol-simbol menjadi bilangan-bilangan kompleks sesuai dengan konstelasi *mapping* QPSK pada pengirim. Berikut adalah tabel parameter simulasi untuk sistem OWDM dan OFDM.

Tabel 1. Parameter sistem OWDM dan OFDM

PARAMETER	Jenis Parameter
Jenis Modulasi	QPSK
Jumlah sub-band/sub-carrier (N)	16
Model kanal	AWGN + Multipath Rayleigh Fading
Bandwidth (BW)	2 MHz
Delay spread (σ_τ)	200 ns
Kecepatan User (v)	3 km/jam
Jumlah Bit yang ditransmisikan	2^{16}
Filter Wavelet	db8

3.2 Analisa Hasil Simulasi

Berikut adalah hasil simulasi yang diperoleh untuk sistem OWDM dan OFDM pada kanal rayleigh.



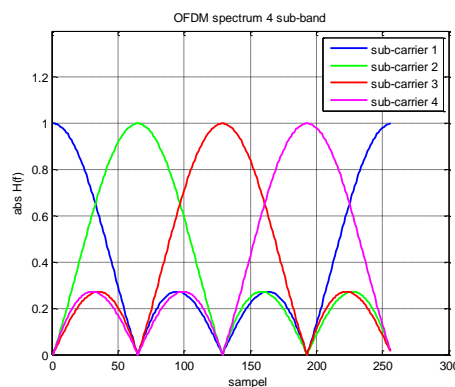
Gambar 6. Spektral sinyal OWDM 4 sub-band

Pada sistem OWDM menggunakan *wavelet* diskrit, masing-masing *sub-band* memiliki band frekuensi yang berbeda, kecuali untuk *sub-band* pada level yang sama. Gambar .6 memperlihatkan pembagian *band* frekuensi untuk 4 *sub-band* (3 level IDWT). Pembagian frekuensi subband diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Pembagian *band* frekuensi 4 sub-band

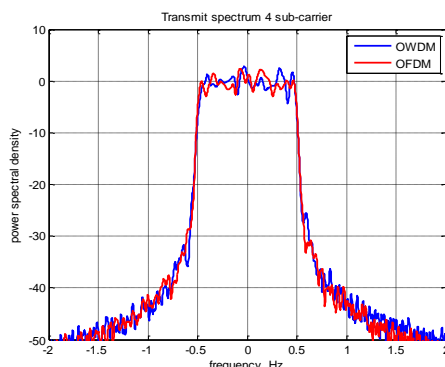
Sub-band	$ H(f) $
1 (level 1 IDWT)	1.9
2 (Level 2 IDWT)	0.95
3 (level 3 IDWT)	0.475
4 (level 3 IDWT)	0.475

Penggunaan IDWT pada sistem OWDM yang menyebabkan antara *sub-band/sub-carrier* memiliki *band* frekuensi yang tidak sama. Hal ini berpengaruh terhadap semakin lebar *band* frekuensi dari suatu *sub-band* maka akan ada kemungkinan kanal masih terasa frekuensi selektif *fading*. Hal ini terjadi jika *bandwidth sub-band* sinyal melewati *bandwidth* koheren kanal yang lebih sempit. *Bandwidth* koheren kanal akan semakin sempit jika nilai *delay spread* semakin tinggi.



Gambar 7. Spektral sinyal OFDM 4 sub-carrier

Pada Gambar.7 memperlihatkan spektrum band frekuensi untuk sistem OFDM 4 *sub-carrier*. Di sini terlihat bahwa, dalam sistem OFDM setiap *sub-band* mempunyai *band* frekuensi yang sama.



Gambar 8. *Power Spectral Density* sistem OWDM dan OFDM

Grafik perbandingan PSD sistem OWDM dan OFDM pada Gambar 6, 7 dan 8 memperlihatkan bahwa *power spectrum density* untuk sub-band 4 untuk kedua sistem adalah sama. Akan tetapi, pada sistem OWDM *bandwidth* untuk masing-masing *sub-band* berbeda. Semakin tinggi level *sub-band* maka semakin lebar *band* frekuensinya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi perbandingan *power spectral density* (PSD) antara sistem OWDM dan OFDM, dapat disimpulkan bahwa kedua sistem memiliki nilai PSD yang sama. Akan tetapi pembagian *bandwidth* untuk masing-masing *subband* sistem OWDM berbeda.

Daftar Pustaka:

- [1] Hassen, S.Fadel.2008.*The Performance of Orthogonal wavelet Division Multiplexing (OWDM) in Flat Rayleigh Fading Channel*. Journal of Engineering and Development, Vol .12, No.1.
- [2] Nerma, Mohamed,H.M., Kamel, Nidal.S and Jeoti, Varun.*An OFDM System Based on Dual Tree Complex Wavelet Transform (DT-CWT)*. Signal Processing: An International Journal (SPIJ), Volume(3) : Issue(2).
- [3] Polikar, R.1995. *The Wavelet Tutorial*. Department of Electrical and Computer Engineering, Rowan University.
- [4] Ahmed, Nadeem.2000. *Joint Detection Strategies for Orthogonal Division Multiplexing*. Thesis Master of Science. Texas.
- [5] Strang, Gilbert., Nguyen, Truong.*Wavelet and Filter banks*. Wellesley. Cambridge Press.
- [6] Burrus, C. Sidney.,Gopinath, Ramesh A and Guo, Haitao.1998. *Introduction to wavelet and Wavelet Transform A Primer*. Prentice-Hall, Inc.
- [7] Dinata, irwan. Analisa Power Spectral Density pada Sistem Orthogonal Wavelet Division Multiplexing Berbasis Wavelet Packet. Elektronik Jurnal Arus Elektro Indonesia (eJAEI)
- [8] Rappaport,Theodore.S.1999.*Wireless Communications Principle and Practice*.
- [9] Silanders, Anders.1999. *On Wavelet For Digital Communication*. Thesis for The Degree of Licentiate of Philosophy. Sweden.
- [10] Scott L. Linfoot, Mohammad K. Ibrahim, Marwan M. Al-Akaidi.2007. *Orthogonal Wavelet Division Multiplex: An Alternative to OFDM*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 2.

- [11] Tabassum Nawaz Bajwa, Arsla Khan, Sobia Baig. 2011. *Evolution of Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation to Discrete Wavelet Multitone*. Frontiers of Information Technology. 978-0-7695-4625-4/11 © 2011 IEEE. DOI 10.1109/FIT.2011.1963.
- [12] Avila. J, Vinoth. B, Thenmozhi. K.2013. *DWT & FEC guided Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MB-OFDM)- Enhanced Quality Data Rate*. Proceedings of 2013 IEEE Conference on Information and Communication Technologies (ICT 2013).
- [13] N.R.Raaj an, B.Monisha, M.Ram Kumar, A.Jenifer Philomina, M.V.Priya, D.Parthiban, S.Suganya.2011. *Design and Implementation of Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OHWDM) with Minimum Bit Error Rate*. 978-1-4673-0132-91111.IEEE.
- [14] Abdullah S. Almuttiri Scott L. Linfoot.2013. *Orthogonal Wavelet Division Multiplex as a Modulation Scheme for Digital Television*. IEEE Third International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin).
- [15] A.Vamsidhar. 2016. *Performance Comparison of FFT and DWT based MIMO-OFDM Communication Systems*. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research.