

Fitur Utama OFDM dan OFDMA

bagi Jaringan Komunikasi Broadband

Oleh : Rahmad Hidayat

ABSTRAK

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) dan OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) memiliki banyak keunggulan sehingga banyak digunakan pada sistem telekomunikasi modern saat ini.

OFDM banyak dipakai pada jaringan wireless broadband modern karena beberapa alasan terkait yaitu memiliki toleransi terhadap propagasi multipath dan frequency selective fading, kemampuan menghilangkan noise impulse dan memiliki efisiensi spektral yang tinggi.

OFDMA memberikan fitur utama yang dapat dimanfaatkan pada jaringan broadband wireless bergerak seperti WiMax atau sistem 4G seperti LTE (Long Term Evolution). Fitur ini meliputi sub kanalisi uplink dan downlink, frekuensi re-use yang lebih baik dan adanya skalabilitas FFT (Fast Fourier Transform).

Kata kunci : OFDM, OFDMA, wireless, broadband

PENDAHULUAN

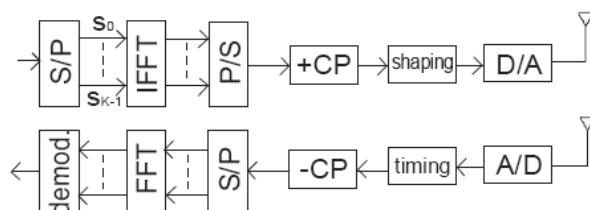
Dengan adanya pertumbuhan luar biasa teknologi wireless dan pertumbuhan kebutuhan selama dekade terakhir, maka semakin dibutuhkan teknik modulasi yang sesuai pada teknologi wireless ini. Perhatian utama adalah untuk menghilangkan fading pada kanal wireless, menyediakan kecepatan data tinggi dan juga menjamin ketersediaan mobilitas bagi pengguna. Inter-symbol interference (ISI) yang muncul akibat selektivitas frekuensi dari kanal wireless merupakan masalah yang sangat penting seiring dengan semakin pesatnya pertumbuhan kecepatan data yang ditransmisikan. Dengan teknik equalisasi pada receiver, maka efek ISI dapat

dikurangi. Tetapi terdapat banyak kesulitan teknis yang memunculkan tingginya biaya hardware. Teknik yang dijanjikan dapat menghilangkan masalah dari equalisasi yang sangat kompleks adalah teknik OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). *Frequency Division Multiplexing* adalah teknik multiplexing dengan frekuensi sebagai parameter yang dimultiplex-nya untuk mengefisienkan proses pentransmisian data. Jika frekuensi-frekuensi yang digunakan saling tegak lurus, maka disebut *Orthogonal FDM* (OFDM). Dengan adanya perkembangan luar biasa DSP (Digital Signal Processing), maka membangkitkan dan mendemodulasikan sinyal OFDM menjadi semakin lebih mudah.

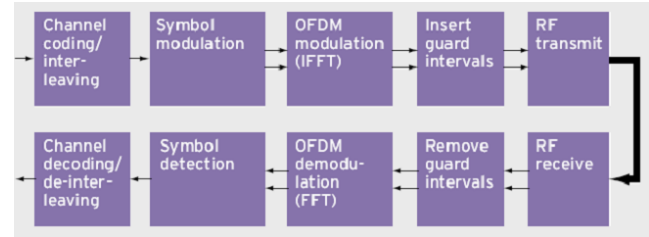
OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) berupa teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing sub-carrier tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio simbol yang rendah. [1][2] Pada OFDMA, sub kanal mempertahankan orthogonalitasnya di dalam kanal lintasan jamak (multipath), juga pengguna dialokasikan pada porsi yang berbeda dari kanal. [5]

PRINSIP KERJA OFDM

Pada Gambar-1 dapat dilihat realisasi OFDM. Pada sisi transmitter, blok informasi diubah dari serial menjadi paralel dengan K buah sub carrier. Berikutnya, modulasi bentuk gelombang orthogonal dieksekusi dengan IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) dan konversi paralel ke serial. Operasi berikutnya dengan menambahkan titik L terakhir kepada awal urutan sebagai CP. Setelah proses 'shaping' (sebagai cara efektif menghilangkan ICI) maka dilakukan pengiriman sampel yang dihasilkan. Setiap blok yang dikirimkan disebut sebagai simbol OFDM. Pada sisi penerima dilakukan seluruh proses sebaliknya.



Gambar-1 Blok Diagram Transceiver OFDM [10]

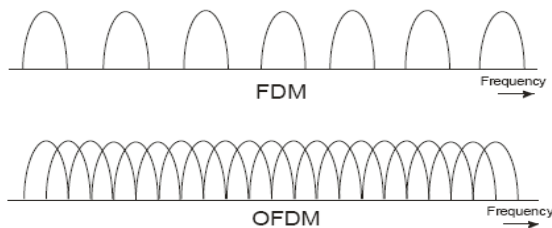


Gambar-2 Blok Diagram (Fungsional) OFDM [9]

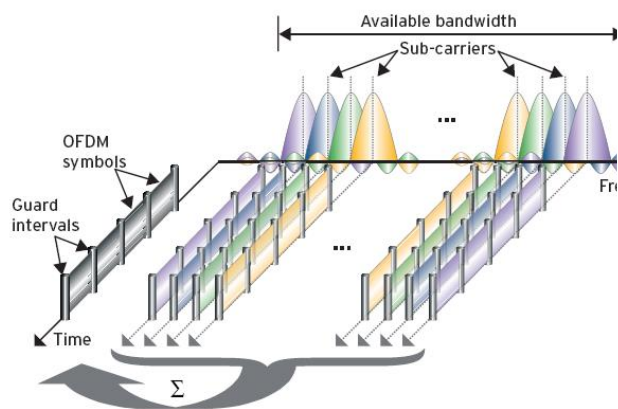
Pada gambar blok diagram fungsional di atas, terlihat pada sisi kirim, sinyal pertamanya dikodekan untuk menambah redundansi bagi proses error recovery dan disisipkan untuk mengacak efek error kanal. Bit-bit yang ada kemudian dipetakan menjadi simbol-simbol pada tiap subcarrier dengan menggunakan skema modulasi klasik seperti QPSK atau QAM. Sinyal OFDM multi sub-carrier kemudian dibangun menggunakan DSP dengan teknik IFFT (inverse fast fourier transform) dan dilakukan penyisipan interval guard untuk memelihara orthogonalitas (non interferensi) simbol-simbol pada lingkungan multipath. Pada sisi terima, interval guard tersebut dibuang dan digunakan FFT (fast fourier transform) untuk membangkitkan kembali (demodulasi) sinyal multi subcarrier. Kemudian proses deteksi simbol akan memutuskan apakah simbol telah diterima dan menerjemahkannya menjadi bit-bit, kemudian dilakukan pengeluaran (de-interleaved) sinyal asal dan pendekodean menjadi sinyal asli sesuai yang dikirim. [9]

OFDM berdasarkan pada frequency division multiplexing (FDM), merupakan teknologi dengan frekuensi jamak untuk secara simultan mengirimkan sinyal jamak secara paralel. OFDM mirip dengan FDM, tapi OFDM memiliki efisiensi spektrum

yang lebih, yaitu dengan menutup jarak spasi antar sub kanal (lihat Gambar-3). Kenyataannya bandwidth yang dibutuhkan sangat berkurang dengan hilangnya guard band dan memungkinkan overlap antar sinyal disebelahnya. [10][11]



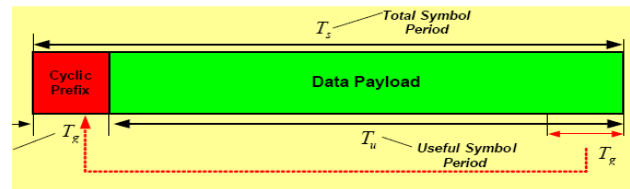
Gambar-3 Perbandingan teknik FDM dan OFDM



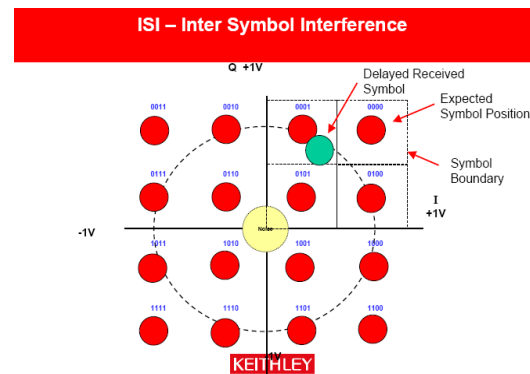
Gambar-4 Prinsip OFDM [4]

Interferensi multipath terjadi ketika sinyal jamak tiba di bagian receiver pada waktu berbeda. Hal ini disebabkan efek pantulan penghalang (obstacle) seperti bangunan, pohon, bukit dan lain-lain yang kemudian menimbulkan ISI. Pemakaian banyak sub-carrier secara paralel memungkinkan lebih panjangnya durasi simbol yang membuat sinyal jamak tersebut lebih kuat terjadinya dispersi multipath. Mekanisme lain untuk menghindari ISI adalah membuat tambahan guard band pada siklus tertentu yang dikenal sebagai cyclic

prefix (CP), sementara saat itu tone orthogonal terus dipelihara. [10]

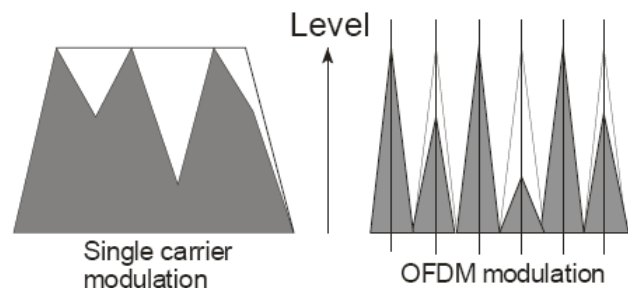


Gambar-5 Penyisipan Cyclic Prefic [7]



Gambar-6 ISI [8]

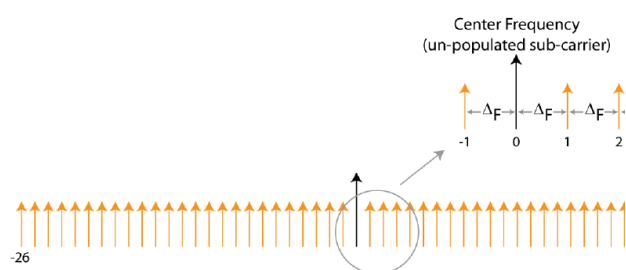
Frequency selective fading mempengaruhi frekuensi tertentu dari seluruh bandwidth transmisi (lihat Gambar-7). Dalam hal modulasi carrier tunggal (seperti CDMA) dibutuhkan proses ekualisasi yang kompleks. Sebaliknya, OFDM hanya butuh ekualisasi secara individual terhadap sub kanal-sub kanal yang ada sehingga proses ekualisasi menjadi lebih sederhana.[10]



Gambar-7 Sinyal single carrier dan OFDM yang diterima

Karakter lain yang membedakan OFDM adalah kemampuan menghilangkan noise impuls. OFDM menyebarkan energi noise impuls pada burst yang ditransmisikan. Hasilnya malahan hilangnya beberapa simbol, level noise sedikit bertambah. Sehingga probabilitas naiknya kecapatan error bit (BER) bisa dikurangi. [11]

Harus dipertimbangkan bahwa sub carrier OFDM adalah paket-paket bersama, jadi sensitivitas frekuensi offset meningkat. Frekuensi offset ini adalah fungsi spasi antar sub carrier, ukuran FFT dan skema modulasi yang dipakai. Dengan banyaknya jumlah sub carrier, juga rasio daya 'peak to average' yang tinggi, merupakan faktor yang sangat penting, dimana kebutuhan tinggi terhadap A/D, D/A dan linieritas power amplifier merupakan hal-hal yang sangat menentukan. [11]

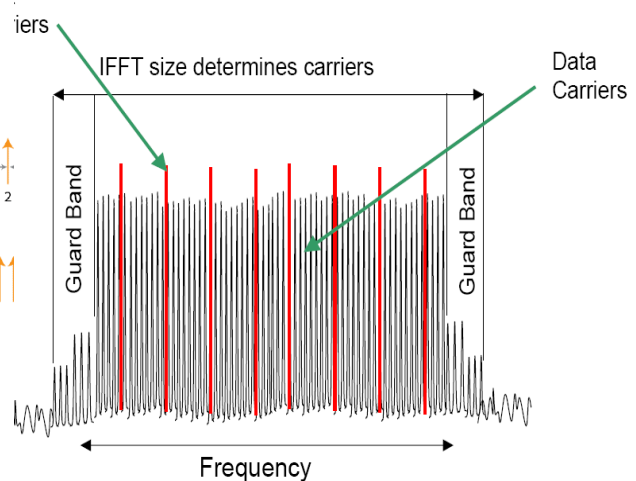


Gambar-8 Spasi sub carrier [8]

Rentang frekuensi antar carrier dibuat sehingga antar carrier menjadi orthogonal satu dengan lainnya. Meski

orthogonal, namun tidak menimbulkan ICI. Kondisi orthogonal dapat dicapai dengan memilih secara selektif jarak spasi antar carrier yang harus sama dengan periode resipokal antar simbol yang bermanfaat. [11]

Pada OFDM terdapat tiga jenis sub carrier yaitu subcarrier data, sub carrier pilot dan sub carrier sinyal null. Tiap sub carrier data dapat membawa bit informasi '1' atau '0'. Peningkatan throughput data dicapai dengan menggunakan modulasi PSK (phase shift keying) atau QAM (quadrature amplitude modulation). Sub carrier pilot menyediakan sebuah referensi untuk meminimalkan pergeseran frekuensi dan phase selama transmisi. Sedangkan sub carrier null berfungsi sebagai guard band carrier sinyal DC (frekuensi tengah). [10]



Gambar-9 Jenis sub carrier [8]

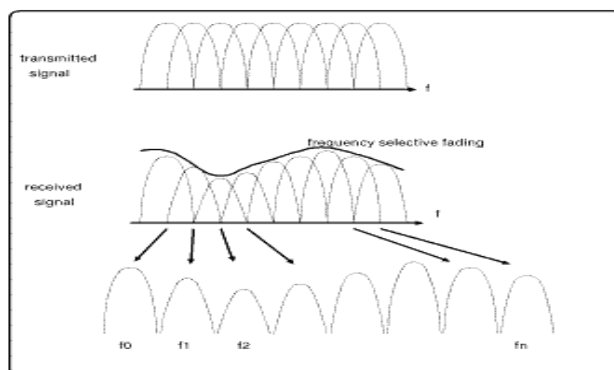
KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN OFDM

Keunggulan [3]

OFDM adalah salah satu jenis dari teknik multicarrier (FDM) yang memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Pada OFDM overlap antar frekuensi yang bersebelahan diperbolehkan, karena masing-masing sudah saling orthogonal, sedangkan pada sistem multicarrier konvensional untuk mencegah interferensi antar frekuensi yang bersebelahan perlu diselipkan frekuensi penghalang (*guard band*), dimana hal ini memiliki efek samping berupa menurunnya kecepatan transmisi bila dibandingkan dengan sistem single carrier dengan lebar spektrum yang sama. Sehingga salah satu karakteristik dari OFDM adalah tingginya tingkat *efisiensi dalam pemakaian frekuensi*. Selain itu pada multicarrier konvensional juga diperlukan band pass filter sebanyak frekuensi yang digunakan, sedangkan pada OFDM cukup menggunakan FFT saja.

Karakter utama yang lain dari OFDM adalah kuat menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequency selective fading* (dimana bandwidth dari channel lebih sempit daripada bandwidth dari transmisi sehingga mengakibatkan pelemahan daya terima secara tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu), tetapi tiap sub carrier dari sistem OFDM hanya mengalami *flat fading* (pelemahan daya terima secara seragam). Pelemahan yang disebabkan oleh flat fading ini lebih mudah dikendalikan, sehingga performansi dari

sistem mudah untuk ditingkatkan. Teknologi OFDM bisa mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, karena meskipun sistem secara keseluruhan memiliki kecepatan transmisi yang sangat tinggi sehingga mempunyai bandwidth yang lebar, karena transmisi menggunakan *subcarrier* (frekuensi pembawa) dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* sangat rendah dan bandwidth dari tiap *subcarrier* sangat sempit, lebih sempit daripada *coherence bandwidth* (lebar daripada bandwidth yang memiliki karakteristik yang relatif sama). Perubahan dari *frequency selective fading* menjadi *flat fading* bisa diilustrasikan seperti gambar berikut :



Gambar-10 Flat fading

Keuntungan yang lainnya adalah, dengan rendahnya kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* berarti periode simbolnya menjadi lebih panjang sehingga kesensitifan sistem terhadap *delay spread* (penyebaran sinyal-sinyal yang datang terlambat) menjadi relatif berkurang. [1]

Kelemahan

Sebagai sebuah sistem buatan manusia, tentunya teknologi OFDM pun tak luput dari kekurangan-kekurangan. Diantaranya, yang sangat menonjol dan sudah lama menjadi topik penelitian adalah *frequency offset* dan *nonlinear distortion* (distorsi nonlinear) [1]

➤ Frequency Offset

Sistem ini sangat sensitif terhadap *carrier frequency offset* yang disebabkan oleh jitter pada gelombang pembawa (*carrier wave*) dan juga terhadap Efek Doppler yang disebabkan oleh pergerakan baik oleh stasiun pengirim maupun stasiun penerima.

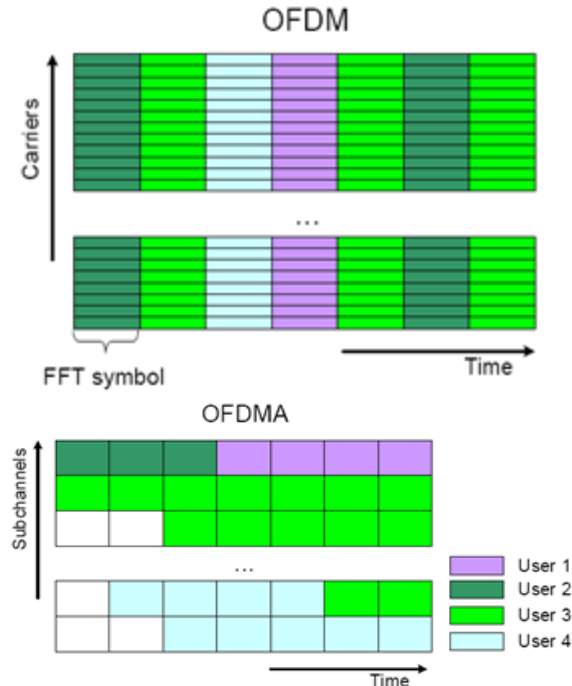
➤ Distorsi Non-linier

Teknologi OFDM adalah sebuah sistem modulasi yang menggunakan multi-frekuensi dan multi-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh distorsi nonlinear yang terjadi pada amplifier dari daya transmisi.

➤ Sinkronisasi sinyal [3]

Pada stasiun penerima, menentukan *start point* untuk memulai operasi Fast Fourier Transform (FFT) ketika sinyal OFDM tiba di stasiun penerima adalah hal yang relatif sulit. Atau dengan kata lain, sinkronisasi daripada sinyal OFDM adalah hal yang sulit.

TEKNOLOGI OFDMA

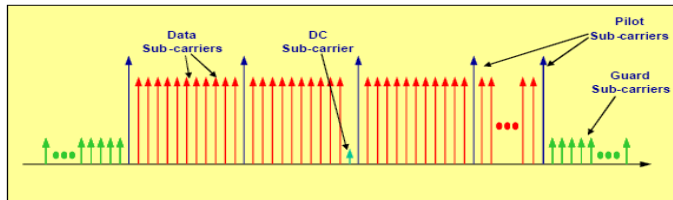


Gambar-11. Uplink OFDM & OFDMA [6]

Pada OFDMA, perangkat pengguna ditentukan timeslot untuk proses transmisi, tetapi hanya satu perangkat pengguna dapat memancar selama sebuah timeslot tunggal. Kemudian dengan adanya sub kanalikasi pada OFDMA memungkinkan beberapa perangkat pengguna memancar pada waktu yang sama melalui sub kanal yang dialokasikan bagi pengguna.

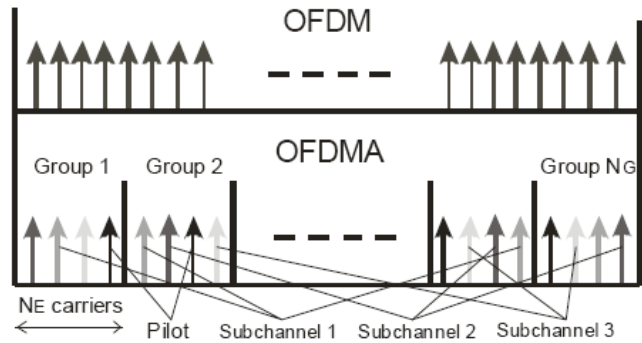
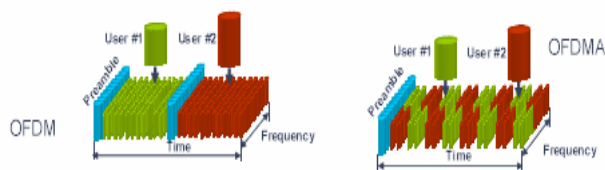
OFDMA memungkinkan pemberian subset sub carrier bagi user-user berbeda. Pada mode ini, subcarrier aktif dibagi ke dalam subset sub carrier yang disebut **sub kanal**. Tujuan utama sub kanalikasi ini adalah untuk mendukung skalabilitas, multiple access dan kemampuan pemrosesan susunan (array) antena. OFDMA juga

memberikan pengurangan interferensi bagi pengguna dan meningkatkan kemampuan NLOS (non line of sight) yang merupakan hal utama pada sistem bergerak. [10]



Gambar-12 Struktur Subcarrier OFDMA [7]

Prinsip sub kanalisasi diperlihatkan pada Gambar-13. Jarak spasi carrier dibagi menjadi NG group. Setiap group berisi NE buah carrier, sehingga terbentuk NE buah sub kanal. Jenis coding dan modulasi ditentukan terpisah untuk setiap sub kanal. Sub carrier-sub carrier yang ada dapat dialokasikan bagi pengguna-pengguna berbeda (satu sub kanal untuk satu pengguna) tergantung pada kondisi kanal. Karakteristik ini berguna bagi operator yang menempatkan setiap user pada sub carrier yang paling tepat sehingga diperoleh penggunaan sumberdaya secara efisien. [11]



Gambar-13 Perbandingan alokasi sub carrier OFDM dan OFDMA

Sub kanalisasi arah uplink memberikan keuntungan lain. Pada OFDM, perangkat (device) pengguna mengirimkan band frekuensi masuk secara berlebih. OFDMA membolehkan pengguna hanya mengirimkan data melalui sub kanal-sub kanal yang dialokasikan bagi pengguna.

Manfaat ini menyebabkan peningkatan daya pada sistem OFDM.[10][11]

Untuk tujuan sub kanalisasi, dapat dipilih dua jenis perubahan urutan sub carrier : diversity atau contiguous. Pada skem permutasi diversity, sub carrier acak (pseudo randomly) menghasilkan sub kanal. Hal ini akan menyediakan diversitas frekuensi dan ICI (inter-cell interference) rata-rata. Permutasi diversitas meliputi permutasi DL-FUCS (Fully Used Subcarrier), DL-PUCS (Partially Used Subcarrier) dan UL-PUCS. Sedangkan permutasi contiguous membentuk group sebuah blok subcarrier-

subcarrier berdekatan menjadi suatu bentuk sub kanal.[11]

Adanya grup sub carrier berupa sub kanal OFDMA yang terskalakan memungkinkan ukuran FFT yang digunakan lebih kecil untuk meningkatkan kinerja atau efisiensi bagi kanal dengan bandwidth lebih kecil. Dengan menerapkan IEEE 802.16-2004, sistem dapat mengurangi ukuran FFT dari 2048 menjadi 128 untuk menangani bandwidth kanal yang berkisar dari 1,25 MHz menjadi 20 MHz. Hal ini memungkinkan jarak sub carrier tetap tak tergantung bandwidth. Sementara itu kompleksitas berkurang dan dengan FFT yang lebih besar diperoleh kinerja lebih tinggi dengan kanal yang lebar. [5]

OFDMA juga menawarkan frekuensi re-use lebih baik dan hasilnya diperoleh throughput lebih tinggi. Hal ini merupakan hasil dari permutasi kompleks sub carrier, sehingga perencanaan cell menjadi lebih mudah. Sebagai tambahan keuntungan OFDMA adalah dihasilkannya scalable OFDMA (SOFDMA). Di sini, FFT memberikan skala ukuran OFDMA (berupa bandwidth kanal) agar dapat menjaga jarak spasi yang tetap antar carrier. [10] Hal ini menghasilkan efisiensi spektrum lebih tinggi

dalam kanal lebar dan mengurangi biaya pada kanal sempit.

KESIMPULAN

1. OFDM adalah teknologi yang dapat memulihkan masalah multi-path (lintasan jamak) sehingga OFDM ideal untuk mengatasi lingkungan banyak obstacle (penghalang sebagai pemantul) dan lingkungan wireless bergerak (mobile)
2. Dengan kemampuan efisiensi spektral tinggi maka OFDM juga sangat cocok memenuhi kebutuhan trafik data wireless yang tinggi
3. Teknologi OFDMA memberikan solusi pada komunikasi Non-LOS (line of sight)
4. Karena menggunakan awalan siklis (Cyclic Prefix) dan laju simbol yang sesuai, maka ragam gelombang OFDMA dapat mengatasi interferensi antar simbol dan kompleksitas ekualisasi adaptif
5. OFDMA sangat mendukung teknik modulasi up-link orde tinggi dan memiliki efisiensi spektral yang tinggi.

RIWAYAT PENULIS

Rahmad Hidayat, MT adalah dosen Kopertis Wilayah IV dpk sebagai dosen tetap di Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Mandala Bandung. Penulis juga sebagai anggota Persatuan Insiyur Indonesia. Saat ini penulis bertanggung

jawab sebagai Kepala Lembaga Penelitian STT Mandala Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sigit Puspito W.J.. *Mengenal Teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*, Jurnal Elektro Indonesia, Nomor 24, Tahun V.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_Frequency_Division_Multiplexing
- [3] Tito Ilyasa . *OFDM pada Komunikasi Digital Pita Lebar*.Teknik Elektro,Universitas Indonesia
- [4] _____.(2005).*HSDPA and Beyond*. Nortel, White Paper
- [5] Thomas, S.W. (2008). *Teknologi WiMAX untuk Komunikasi Digital Nirkabel Bidang Lebar*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [6] _____.(2005). *Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks*. WIMAX Forum
- [7] _____.(2006).*Mobile Wimax Part I: A Technical Overview & Performance Evaluation*, Wimax Forum.
- [8] _____.(2008). *An Introduction to Orthogonal Frequency Division Multiplex Technology*. Keithley Instruments, Inc .
- [9] Hara, S., & Prasad, R. (2003). *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications*. Boston : Artech House
- [10] Hidayat, R. (2010). *Interworking Antar Teknologi WiFi-WiMAX*. Jurnal JusTI, vol.2 no.2. Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda.
- [11] Philippe Duplessis, *Nortel Technical Journal*, Issue 2
- [12] Pavel Mach, Robert Bešták, *Implementation of OFDM into Broadband Wire-less Networks*. Czech Technical University,Prague, Czech.