

Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless

Oleh : YB. Praharto

Abstrak

Artikel singkat ini akan diulas mengenai teknologi Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada komunikasi wireless. Pembahasan meliputi sejarah, prinsip kerja, keunggulan dan kelemahannya. Dan pada bagian akhir akan diperkenalkan pula beberapa studi mengenai OFDM ini.

Pendahuluan

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) merupakan teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Pada saat ini, OFDM telah dijadikan standar dan dioperasikan di Eropa yaitu pada Proyek DAB (Digital Audio Broadcast)[11], selain itu juga digunakan pada HDSL(High Bit-rate Digital Subscriber Lines; 1.6 Mbps)[9], VHDSL (Very High Speed Digital Subscriber Lines; 100 Mbps)[9] , HDTV (High Definition Television)[10] dan juga komunikasi radio[5][7][8]. Teknologi ini sebenarnya sudah pernah diusulkan pada sekitar tahun 1950[1-4], dan penyusunan teori-teori dasar dari OFDM sudah selesai sekitar tahun 1960. Pada tahun 1966, OFDM telah dipatenkan di Amerika[4]. Kemudian pada tahun 1970-an, muncul beberapa buah paper yang mengusulkan untuk mengaplikasikan DFT (Discrete Fourier Transform) pada OFDM[6], dan sejak tahun 1985 muncul beberapa paper yang memikirkan pengaplikasian teknologi OFDM ini pada komunikasi wireless.

Akhir-akhir ini teknologi OFDM ini kembali menjadi bahan pembicaraan para pakar komunikasi, hal ini tak dapat dipisahkan dari pesatnya perkembangan teknologi LSI. Karena sebelum teknologi LSI berkembang, meskipun secara teori sangat menjanjikan, tapi OFDM dianggap kurang aplikatif karena terlalu rumit.

Prinsip dasar OFDM

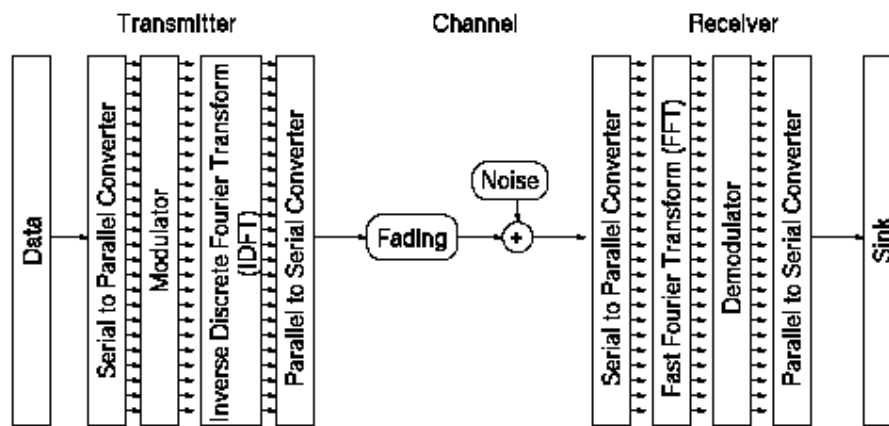
OFDM adalah sebuah teknik transmisi dengan banyak frekuensi (*multicarrier*), menggunakan Discrete Fourier Transform (DFT). Bagan dasar dari OFDM diilustrasikan melalui gambar.1.

Cara kerjanya adalah sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila bit rate semula adalah R , maka bit rate di tiap-tiap jalur parallel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah sub-carrier). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap sub-carrier. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*), mengenai hal ini akan dijelaskan lebih lanjut. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim.

Sinyal yang terkirim tersebut, dalam persamaan matematik bisa diekspresikan sebagai berikut,

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_n f(t - nT) e^{j(\omega_0 t + \varphi)} \right\} \quad (1)$$

Dimana $\text{Re}(\cdot)$ adalah bagian real dari persamaan, $f(t)$ adalah respons impuls dari filter transmisi, T adalah periode simbol, ω_0 adalah frekuensi pembawa (*carrier frequency*) dalam bentuk radian, φ adalah fase pembawa (*carrier phase*), dan b_n adalah data informasi yang telah termodulasi yang menjadi input dari IDFT.



Gambar 1. Bagan Dasar OFDM

Untuk mempermudah, maka pembahasan mengenai keadaan sinyal ketika melewati jalur komunikasi (*channel*) akan dibahas pada bagian lain.

Sedangkan pada stasiun penerima, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, kemudian konversi sinyal parallel dengan Fast Fourier Transform (FFT), setelah itu demodulasi, konversi parallel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

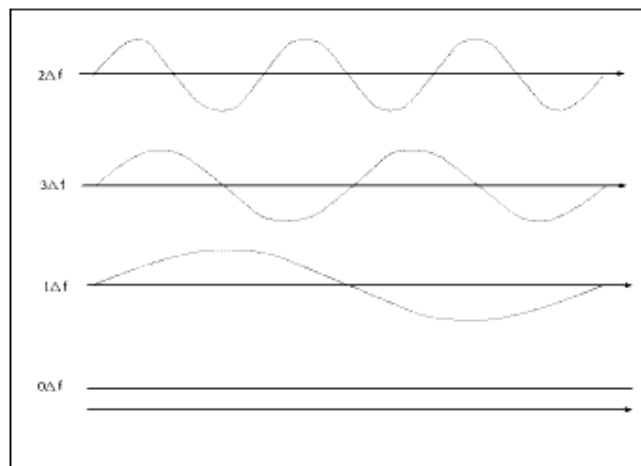
Pengertian Orthogonal

Istilah *orthogonal* dalam Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) mengandung makna hubungan matematis antara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan persamaan matematika bisa diekspresikan sebagai berikut, dua buah kumpulan sinyal dikatakan orthogonal bila,

$$\int_a^b \psi_p(t) \psi_q^*(t) dt = 0$$

for $p \neq q$ (2)
 $= K$ for $p = q$

Pemakaian frekuensi yang saling orthogonal pada OFDM memungkinkan overlap antar frekuensi tanpa menimbulkan interferensi satu sama lain. Ada beberapa kumpulan sinyal yang orthogonal, salah satunya yang cukup sering kita gunakan adalah sinyal sinus, sebagaimana diperlihatkan pada gambar.2.

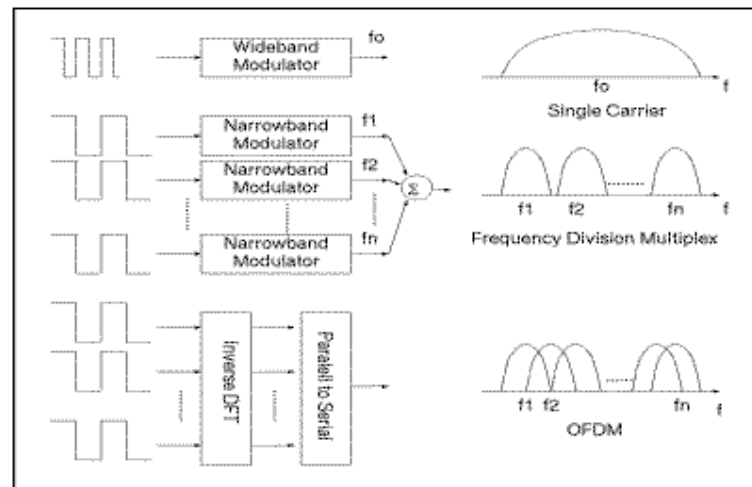


Gambar .2 Sinyal-sinyal orthogonal

Keunggulan :

Efisien dalam pemakaian frekuensi

Untuk memperjelas perbedaan OFDM, baik dalam operasi dasarnya maupun dalam segi efisiensi spektrumnya, dengan sistem single carrier, dan juga dengan sistem multicarrier konvensional, bisa dilihat pada Gambar.3. Dari gambar tersebut bisa dilihat, bahwa OFDM adalah salah satu jenis dari multicarrier (FDM), tetapi 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.

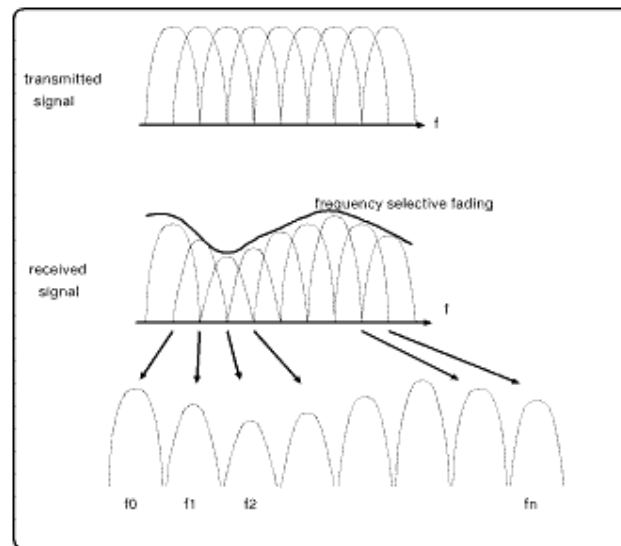


Gambar.3. Perbandingan dengan SCM dan FDM

Kuat menghadapi frequency selective fading

Karakter utama yang lain dari OFDM adalah kuat menghadapi *frequency selective fading*. Dengan menggunakan teknologi OFDM, meskipun jalur komunikasi yang digunakan memiliki karakteristik *frequencyselective 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 4.



Gambar.4 Ilustrasi frequency selective fading pada sinyal OFDM

Tidak sensitif terhadap sinyal tunda

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.

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).

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 Nonlinear

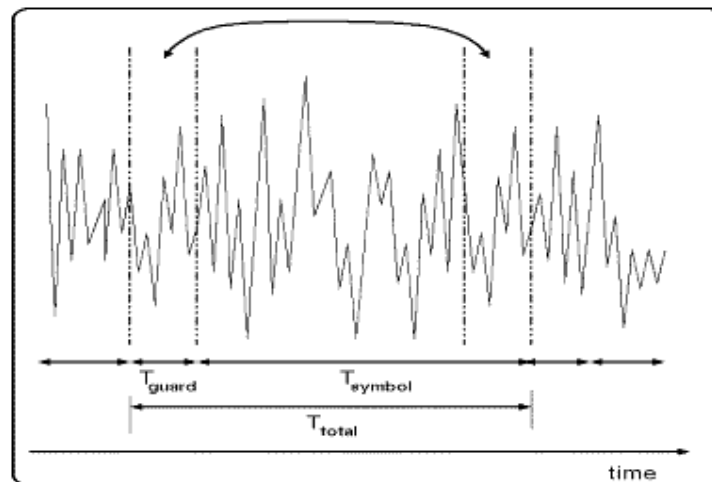
Teknologi OFDM adalah sebuah sistem modulasi yang menggunakan multi-frekuensi dan multi-amplitudo, sehingga sistem ini mudah terkontaminasi oleh distorsi nonlinear yang terjadi pada amplifier dari daya transmisi.

Sinkronisasi Sinyal

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.

Beberapa studi Guard interval

Pada OFDM, sinyal didesain sedemikian rupa agar orthogonal, sehingga bila tidak ada distorsi pada jalur komunikasi yang menyebabkan ISI(*intersymbol interference*) dan ICI(*intercarrier interference*), maka setiap *subchannel* akan bisa dipisahkan stasiun penerima dengan menggunakan DFT. Tetapi pada kenyataannya tidak semudah itu. Karena pembatasan spektrum dari sinyal OFDM tidak *strict*, sehingga terjadi distorsi linear yang mengakibatkan energi pada tiap-tiap *subchannel* menyebar ke *subchannel* di sekitarnya, dan pada akhirnya ini akan menyebabkan interferensi antar simbol (ISI). Solusi yang termudah adalah dengan menambah jumlah *subchannel* sehingga periode simbol menjadi lebih panjang, dan distorsi bisa diabaikan bila dibandingkan dengan periode simbol. Tetapi cara diatas tidak aplikatif, karena sulit mempertahankan stabilitas carrier dan juga menghadapi *Doppler Shift*. Selain itu, kemampuan FFT juga ada batasnya.

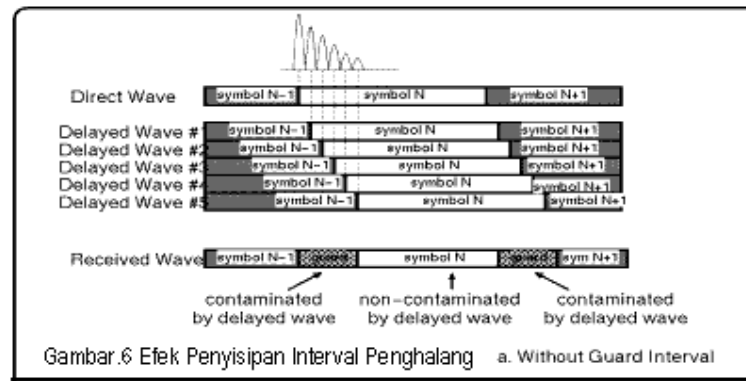


Gambar 5. Cara Penyisipan Interval Penghalang

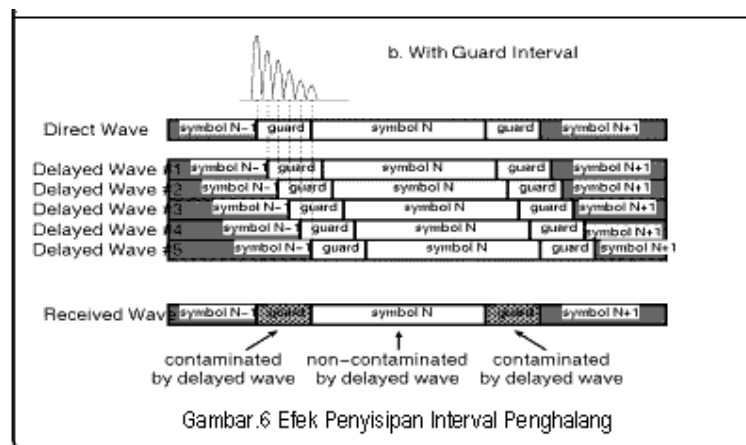
Pendekatan yang relatif sering digunakan untuk memecahkan masalah ini adalah dengan menyisipkan *guard interval* (interval penghalang) secara periodik pada tiap simbol OFDM. Sehingga total dari periode simbol menjadi

$$T_{\text{total}} = T_{\text{guard}} + T_{\text{symbol}} \quad (3)$$

Cara penyisipan diilustrasikan pada gambar 5, sedangkan efek dari penyisipan interval penghalang ini bisa diilustrasikan pada gambar.6.



Gambar.6a,



Gambar. 6b Efek Penyisipan Interval Penghalang

Kombinasi dengan CDMA

Pada sekitar tahun 1994, ada beberapa paper yang mengusulkan kombinasi antara teknologi OFDM dengan teknologi CDMA (*Code Division Multiple Access*)[5][12][13][14], yaitu menggunakan OFDM untuk modulasi tiap stasiun dan menggunakan CDMA untuk *multiple access*, yaitu penggabungan sinyal-sinyal dari beberapa stasiun pengirim pada sebuah jalur komunikasi yang harus digunakan secara bersama. Tema penelitian ini cukup meramaikan jurnal-jurnal komunikasi tingkat internasional seperti IEEE Transaction on Communiation, IEEE Journal on Selected Areas of Communication, IEEE Vehicular Technology, dan lain-lain. Alasan utama banyaknya perhatian terhadap teknologi ini, karena kemampuannya untuk menggabungkan keistimewaan dari CDMA yang terkenal sangat tahan terhadap interferensi, dengan keistimewaan-keistimewaan dari OFDM seperti yang sudah diuraikan sebelumnya. Metode OFDM CDMA ini juga memungkinkan pemakaian CDMA untuk pengiriman data berkecepatan tinggi.

Penutup

Teknologi OFDM memiliki banyak kelebihan khususnya dalam hal efisiensi pemakaian frekuensi dan kemampuan transmisi kecepatan tinggi, maka banyak

penelitian-penelitian yang mencoba mengadopsi teknologi OFDM ini dengan teknologi-teknologi lain. Penelitian tersebut tentunya harus diiringi dengan perbaikan performansi dari teknologi OFDM itu sendiri. Sehingga masih banyak tema penelitian yang bisa dikembangkan dari teknologi ini.

Daftar Pustaka

1. Y.Wu, B.Caron,"Digital Television Terrestrial Broadcasting" *IEEE Communication Magazine*, May 1994, pp 46-52.
2. H.Sari, G.Kalam, I.Jeanclaude,"Transmission Techniques for Digital Terrestrial TV Broadcasting" *IEEE Communication Magazine*, February 1995, pp 100-109.
3. A.Tsuzuku,"OFDM hencho sono jissai" *Electronics*, Desember 1996.
4. R.W.Chang,"Orthogonal frequency division multiplexing," US Patent 3 488 445, issued Jan 6, 1970.
5. E.A. Sourour, M.Nakagawa,"Performance of Orthogonal Multicarrier CDMA in a Multipath Fading Channel," *IEEE Transactions on Communications*, vol.44,No.3,March 1996, pp. 356-367.
6. S.B.Weinstein, P.M.Ebert,"Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform," *IEEE Transactions on Communications*, vol. Com-19, 1971m pp.628-634.
7. J.A.C.Bingham,"Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Communication Magazine*, May 1990, pp.5-14.
8. L.J.Cimini," Analysis ad simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing,"*IEEE Transaction on Communication*, vol.Com-33,no.7, July 1985, pp.665-675.
9. P.S.Chow, J.C.Tu, J.M.Choffi," Performance evaluation of a multichannel transceiver system for ADSL and VHDSL services," *IEEE J.Selected Areas*,Vol.SAC-9, NO.6, August 1991, pp.909-919.
10. P.S.Chow, J.C.Tu, J.M.Choffi," A discrete multitone transceiver system for HDSL applications," *IEEE J.Selected Areas*,Vol.SAC-9, NO.6, August 1991, pp.909-919.
11. H.M.Price,"CD by radio: Digital Audio Broadcasting", IEE Review, April 1992,vol.38, pp.131-135.
12. R.Prasad, S.Hara,"An overview of multi-carrier CDMA" *IEEE Communication Magazine*, Desember 1997, pp 126-133.
13. K.Fazel, L.Papke,"On the performance of convolutionally coded CDMA/OFDM for mobile communication system,"*Proc. IEEE PIMRC 1993, Septembert 1993*, pp.468-472.
14. V.M.DaSilva, E.S.Sousa,"Performance of orthogonal CDMA codes for quasi-synchronous communication systems,"*Proc. IEEE ICUPC '93, October 1993*, pp.995-999.